

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№1 2017

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

**05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И
МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,
МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ**

**05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

Казань

2017

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №1 2017г. – Казань:
Научно-технический вестник Поволжья, 2017. – 110 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvp.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № 12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;

В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.; В.К. Половняк – д.х.н., проф.;

П.П. Суханов – д.х.н., проф.; В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Научно-технический вестник Поволжья, 2017 г.

СОДЕРЖАНИЕ

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

<i>Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов</i> УСТОЙЧИВОСТЬ И ТОЧНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ	7
<i>Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов</i> УСТОЙЧИВОСТЬ И ТОЧНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОДНОГО КЛАССА ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ	10
<i>А.А. Демчук, С.С. Новикова</i> РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА ОДНОГО КЛАССА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ	14
<i>В.В. Дружинин</i> АЛГЕБРА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОГРЕССИЙ	18
<i>Е.А. Микишианина</i> ЧИСЛЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТУРОВ ОБВОДНЕНИЯ В ЗАДАЧАХ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ	21
<i>В.Ш. Ройтенберг</i> О ПРЕДЕЛЬНЫХ ЦИКЛАХ ОДНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА НА ОКРУЖНОСТИ	25
<i>М.Ю. Федотова</i> О СХОДИМОСТИ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ НЕЙМАНА СО СМЕНОЙ ТИПА ГРАНИЧНОГО УСЛОВИЯ НА УЗКОЙ ПОЛОСКЕ	29

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>А.Х. Тазмеев, Р.Н. Тазмеева</i> ОБ УЧАСТИИ ВОДЯНОГО ПАРА В ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ ПОЛИМЕРОВ В СИНТЕЗ-ГАЗ	32
---	----

05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<i>М.Н. Баранов, Т.Н. Иванова, Р.Г. Латыпов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГЛУБИННЫХ НАСОСОВ	36
<i>П.А. Катасонов, Ю.И. Шакиров, И.М. Нуриев, Р.И. Валиев, А.А. Хафизов, Д.С. Мартемьянов</i> ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НЕРАСХОДУЕМЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ИЗ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО МАГНЕТИТА	40
<i>Р.А. Кобзев, И.О. Кудашева, Д.С. Мамаев</i> ОПТИМИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ КРАНА КОЗЛОВОГО СПЕЦИАЛЬНОГО К100У	43
<i>С.В. Макаров, Д.П. Ильященко, И.Д. Садыков, Е.В. Огудова</i> РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ В ЖИДКОМ СТЕКЛЕ ПРИ ПОМОЩИ МЕХАНОКАВИТАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ	46

05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

<i>А.П. Буйносов, А.Р. Динисламов</i> ВЫБОР МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ	50
<i>Б.С. Лиджиев, Ж.В. Овадыкова, В.П. Очир-Горяев</i> О СЛОЖЕНИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ	53

05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

<i>В.Н. Абузаров, В.Н. Елисеев, Е.Н. Чернопрудова</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ СЛОЯМИ В КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ	58
<i>А.А. Алейников, К.З. Билятдинов</i> МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ	63

<i>Л.В. Антонов, А.Д. Варламов</i> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЙ ЖИВОТНЫХ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ДАННЫХ С ДАТЧИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МОЛОЧНОГО ЖИВОТНОВОДСТВА	66
<i>В.С. Белоус, Н.Н. Белоус, Н.В. Силенок</i> ТЕСТИРОВАНИЕ И ОТЛАДКА УЧЕБНОЙ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	69
<i>А.П. Буйносов</i> МОДЕЛЬ МНОГОФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ	73
<i>Д.Р. Григорьева, Г.А. Гареева, А.Ю. Ишимова</i> ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДАХ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА ЦЕН НА ПОЛИМЕРНУЮ ПРОДУКЦИЮ	77
<i>Т.А. Деменкова, С.М. Коваленко</i> МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СИМУЛЯЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	80
<i>Н.А. Костарев, Н.М. Труфанова</i> РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА НАЛОЖЕНИЯ ЛЕНТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ	84
<i>Г.И. Лавров, И.Г. Лавров</i> К ВОПРОСУ О ПЕРЕНОСЕ СКВАЖИННЫХ ДАННЫХ НА СЕТКУ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	88
<i>М.Я. Пашаев, М.Ш. Минцаев</i> КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗА ПРОЦЕССОМ ОКАЗАНИЯ УСЛУГ ГЛОНАСС ПО ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ	91
<i>Я.И. Фальконе, О.Ю. Гаценко, Г.П. Жигулин</i> КЛАССИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННЫХ УГРОЗ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ	100
АННОТАЦИИ	103

THE RELEASE MAINTENANCE

01.01.00 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICS

<i>F.D. Bairamov, B.F. Bairamov</i> STABILITY AND ACCURACY OF FUNCTIONING OF OPERATED SYSTEMS	7
<i>F.D. Bairamov, B.F. Bairamov</i> STABILITY AND ACCURACY OF FUNCTIONING OF ONE CLASS OF HYBRID SYSTEMS	10
<i>A.A. Demchuk, S.S. Novikova</i> THE RESONANCE PROPERTIES OF A CLASS OF CONTROL SYSTEMS WITH HYSTERESIS NONLINEARITIES	14
<i>V.V. Druzhinin</i> ALGEBRA OF GEOMETRIC PROGRESSIONS	18
<i>E.A. Mikishanina</i> NUMERICAL DEFINITION OF CONTOURS OF FLOOD IN PROBLEMS OF A NON-STATIONARY FILTRATION	21
<i>V.Sh. Roitenberg</i> ON LIMIT CYCLES OF SAME SECOND ORDER DIFFERENTIAL EQUATION ON THE CYCLE	25
<i>M.Yu. Fedotova</i> ON THE CONVERGENCE OF SOLUTIONS OF NEUMANN PROBLEM WITH SWITCHING OF TYPE OF BOUNDARY CONDITION ON A NARROW STRIP	29

02.00.00 — CHEMICAL SCIENCES

<i>A.Kh. Tazmeev, R.N. Tazmeeva</i> ABOUT PARTICIPATION OF WATER VAPOR IN THE PLASMOCHEMICAL CONVERSION OF POLYMERS INTO SYNTHESIS GAS	32
--	----

05.02.00 — TECHNICAL SCIENCES — MECHANICAL ENGINEERING AND ENGINEERING SCIENCE

<i>M.N. Baranov, T.N. Ivanova, R.G. Latypov</i> A STUDY OF THE EFFICIENCY OF DEEP-WELL PUMPS	36
<i>P.A. Katasonov, Yu.I. Shakirov, I.M. Nuriev, R.I. Valiev, A.A. Khafizov, D.S. Martemjanov</i> PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF THERMAL SPRAY COATINGS MADE OF PLASMACHEMICAL MAGNETITE APPLIED TO NON-CONSUMABLE ELECTRODES	40
<i>R.A.Kobzev, I.O. Kudasheva, D.S. Mamaev</i> OPTIMIZATION OF MECHANISMS MOVEMENT SPECIAL GANTRY CRANE K100U	43
<i>S.V. Makarov, D.P. Ilyaschenko, I.D. Sadikov, E.V. Ogudova</i> DISTRIBUTION OF ULTRAFINE POWDERS IN LIQUID GLASS WITH MECHANICAL CAVITATION INSTALLATION	46

05.11.00 — TECHNICAL SCIENCES — INSTRUMENTATION, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING DEVICES

<i>A.P. Buinosov, A.R. Dinislamov</i> THE CHOICE OF THE METHOD OF NONDESTRUCTIVE CONTROL OF THE THERMOSTRENGTHENED DETAILS OF THE MECHANICAL PART OF ELECTRIC LOCOMOTIVES	50
<i>B.S. Lidzhiyev, Zh.V. Ovadykova, V.P. Ochir-Goryaev</i> ON ADDING UNCERTAINTIES	53

05.13.00 — TECHNICAL SCIENCES — COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

<i>V.N. Abuzyarov, V.N. Eliseev, E.N. Chernoprudova</i> MATHEMATICAL MODEL OF THERMAL COUPLING BETWEEN THE LAYERS IN COMPOSITE MATERIALS	58
--	----

<i>A.A. Aleynikov, K.Z. Bilyatdinov</i> MODEL EVALUATION OF QUALITY MANAGEMENT	63
<i>L.V. Antonov, A.D. Varlamov</i> DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR AUTOMATIC IDENTIFICATION OF ANIMALS' STATES BASED ON SENSORS' DATA COMPLEXING OF LIVESTOCK ENTERPRISES	66
<i>V.S. Belous, N.N. Belous, N.V. Silenok</i> TESTING AND DEBUGGING ACADEMIC PURPOSES OPERATING SISTEM	69
<i>A.P. Buinosov</i> MODEL OF THE MULTIPLE-FACTOR ANALYSIS OF THE CHOICE OF EFFECTIVE METHODS OF INCREASE IN THE RESOURCE OF BANDAGES OF WHEELPAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES	73
<i>D.R. Grigoreva, G.A. Gareeva, A.Yu. Ishimova</i> COMPUTER TECHNOLOGIES IN STATISTICAL METHODS ON THE EXAMPLE OF POLYMER'S PRICES ANALYSIS	77
<i>T.A. Demenkova, S.M. Kovalenko</i> TECHNIQUE OF SOFTWARE DEVELOPMENT FOR IMPLEMENTATION OF SIMULATION DESIGN	80
<i>N.A. Kostarev, N.M. Trufanova</i> CALCULATION OF THE OPTIMAL MODE OF THE WINDING OF TAPE INSULATION	84
<i>G.I. Lavrov, I.G. Lavrov</i> ON THE ISSUE OF TRANSFERRING OF THE WELL DATA TO A GRID WHEN BUILDING OF 3D DIGITAL GEOLOGICAL MODELS	88
<i>M.Ya. Pashaev, M.Sh. Mintshev</i> CONCEPT OF CONTROL SYSTEM FOR SERVICE DELIVERY GLONASS TRANSPORT LOGISTICS	91
<i>Ya.I. Falcone, O.Yu. Gacenko, G.P. Zhigullin</i> CLASSIFICATION OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF INFORMATION THREATS IN SOCIAL NETWORKS	100
ABSTRACTS	103

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА (01.01.00)

01.01.02

Ф.Д. Байрамов д.т.н., Б.Ф. Байрамов к.ф.-м.н.

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, кафедра механики и конструирования,
Набережные Челны, bbairamov@gmail.com

УСТОЙЧИВОСТЬ И ТОЧНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ

Методом функций Ляпунова решены задачи синтеза управления и оптимального управления по принципу обратной связи, обеспечивающих устойчивость и заданную точность функционирования замкнутой системы.

Ключевые слова: *устойчивость, точность функционирования, синтез управления, метод функций Ляпунова.*

1. Постановка задачи. Пусть возмущённое движение управляемой системы описывается уравнением

$$\frac{dz}{dt} = F(z, t) + B(z, t) \cdot u, \quad (1)$$

где $t \in I = [t_0, \infty)$ – время; $z = z(t) \in E_m$ – вектор-функция состояния системы; $u = u(z, t) \in E_r$ – вектор управления; $B(z, t)$ – непрерывная матрица; $F(z, t)$ – непрерывная вектор-функция.

Технические условия функционирования системы наряду с устойчивостью часто требуют, чтобы отклонения одной или нескольких переменных от их расчётных значений оставались в заранее заданных пределах. При этом отклонения остальных переменных строго не контролируются. Например, в гидравлических системах важно, чтобы рабочая жидкость подавалась потребителю достаточно равномерно [1 – 4], а отклонения частоты вращения двигателя насоса строго контролировать не требуется.

В связи с этим ставится следующая задача.

Задача 1. Требуется найти управление $u(z, t)$, при котором система (1) асимптотически устойчива и любое её решение с начальными данными из области

$$|z_i(t_0)| < H_{0i}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

удовлетворяет условию

$$|z_1(t)| < H_1, \quad t \in I, \quad (3)$$

где H_{0i}, H_1 ($H_1 > H_{01}$) – заданные положительные числа.

Здесь для определённости контролируются отклонения только одной переменной z_1 .

2. Условия разрешимости задачи 1. Пусть $V = V(z, t)$ ($V(0, t) = 0$) – определёнno положительная функция Ляпунова. Обозначим

$$C_1 = \sup [V |z_i| < H_{0i}, \quad i = \overline{1, m}, \quad t = t_0], \quad (4)$$

$$C_2 = \inf [V |z_1| < H_1, \quad |z_i| < \infty, \quad i = \overline{2, m}, \quad t \in I], \quad (5)$$

Теорема 1. Любое управление $u(z, t)$, обеспечивающее выполнения условия

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial z} (F(z, t) + B(z, t) \cdot u(z, t)) = -\Omega(z, t), \quad (6)$$

является решением задачи 1, если $V(z, t)$, $\Omega(z, t)$ – определёнno положительные функции, $V(z, t)$ допускает бесконечно малый высший предел и имеет место неравенство

$$C_1 < C_2. \quad (7)$$

Действительно, условий теоремы 1 достаточно для асимптотической устойчивости системы (1) [5], а выполнение оценки (3) вытекает из цепочки неравенств $V(t) < V(t_0) \leq C_1 < C_2$, которые в силу (6), (7) имеют место на любом решении уравнения (1), исходящем из области (2). Но, если $V < C_2$, то по определению постоянной C_2 выполняется (3).

Приведём решение задачи 1 для линейных систем

$$\frac{dz}{dt} = F(t) + B(t) \cdot u. \quad (8)$$

Функцию $V(z, t)$ возьмём в виде квадратичной формы

$$V = z^T \cdot Q(t) \cdot z, \quad (9)$$

где $Q(t)$ – симметричная непрерывная ограниченная матрица.

Пусть матрица Q определённо положительна при $t \in I$. Тогда форма (9) является определённо положительной, в силу ограниченности матрицы Q допускает бесконечно малый высший предел и имеют место неравенства [5]

$$\frac{\Delta(Q)z_i^2}{\Delta_i(Q)} \leq V \leq \sum_{i,j=1}^m |q_{ij}| |z_i| |z_j|, \quad i = \overline{1, m}, \quad t \in I, \quad (10)$$

где q_{ij} – элементы матрицы Q ; $\Delta(Q) = \det Q$; $\Delta_i(Q)$ – дополнение к i -тому диагональному элементу $\Delta(Q)$.

Из (10) следует, что за числа C_1, C_2 можно принять

$$C_1 = \sum_{i,j=1}^m |q_{ij}(t_0)| H_{0i} H_{0j}, \quad C_2 = \inf_{t \in I} \frac{\Delta(Q) H_1^2}{\Delta_1(Q)}. \quad (11)$$

Неравенство (7) запишется так:

$$\sum_{i,j=0}^m |q_{ij}(t_0)| H_{0i} H_{0j} < \inf_{t \in I} \frac{\Delta(Q) H_1^2}{\Delta_1(Q)}. \quad (12)$$

Управление будем искать из класса

$$u(z, t) = N(t)z, \quad (13)$$

где $N(t)$ – непрерывная матрица.

Вычислим производную dV/dt в силу системы (8), (13): $dV/dt = -z^T \Omega(t)z$, где

$$\Omega(t) = - \left(\frac{dQ}{dt} + QF + F^T Q + QBN + N^T B^T Q \right). \quad (14)$$

Согласно теореме 1 управление (13) разрешает задачу 1 для системы (8), если матрицы Q (9) и Ω (14) определённо положительны при $t \in I$ и выполняется условие (12).

3. Синтез оптимального управления. Очевидно, что если задача 1 имеет решение, то оно будет не единственным, поэтому может быть поставлена следующая задача синтеза оптимального управления.

Задача 1.1. Требуется найти оптимальное управление $u^0(z, t)$, разрешающее задачу 1 с минимальным значением самого управления в каждый момент времени.

Решение задачи сводится к построению управления, обеспечивающего выполнение условия (6) на движениях системы (1) с наименьшим значением $\|u\|^2$ при заданной функции $\Omega(z, t)$. Воспользуясь методом множителей Лагранжа, найдём

$$u^0 = -\frac{\lambda}{2} B^T \frac{\partial V}{\partial z}, \quad \lambda = \text{const} > 0, \quad (15)$$

где λ – множитель Лагранжа, а функция $V = V(z, t)$ удовлетворяет уравнению

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)F - \frac{\lambda}{2} \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^T B B^T \frac{\partial V}{\partial z} = -\Omega. \quad (16)$$

Теорема 2. Оптимальное управление (15) разрешает задачу 1.1, если функция $V(z, t)$, определяемая из уравнения (16), и заданная функция $\Omega(z, t)$ удовлетворяют условиям теоремы 1 и имеет место неравенство (12).

При решении задачи 1.1 для системы (8) функции V и Ω в теореме 1 выберем в виде квадратичных форм $V = z^T Q z$, $\Omega = z^T w z$.

Оптимальное управление (15) и уравнение (16) запишутся так:

$$u^0 = -\lambda B^T Q z, \quad \lambda > 0, \quad \frac{dQ}{dt} + QF + F^T Q - 2QB B^T Q = -w. \quad (17)$$

Согласно теореме 2 оптимальное управление u^0 разрешает задачу 1.1 для системы (8), если матрицы Q (9) и Ω (14) с заменой $N = -\lambda B^T Q$ определённы положительны и выполняется условие (12).

Список литературы

1. Байрамов Б.Ф. Система автоматизированного регулирования скорости выходного звена гидропривода и исследование её динамики // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 1. – С. 80-84.
2. Абдуллина А.М., Байрамов Ф.Д., Байрамов Б.Ф. Гидропривод с управляемым электродвигателем насоса и исследование его динамики // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 2. – С. 65-68.
3. Байрамов Ф.Д., Байрамов Б.Ф., Фардеев А.Р. Модернизированная система подачи смазочно-охлаждающих технологических средств металлорежущих станков и исследование её динамики // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 125-128.
4. Байрамов Ф.Д., Байрамов Б.Ф. Автоматическое регулирование скорости подачи заготовки в шлифовальных станках // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 2. – С. 44-47.
5. Байрамов Ф.Д. Устойчивость и оптимальная стабилизация систем с распределенными параметрами. – М.: Машиностроение, 1995. – 160 с.

01.01.02

Ф.Д. Байрамов д.т.н., Б.Ф. Байрамов к.ф.-м.н.

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, кафедра механики и конструирования,
Набережные Челны, bbairamov@gmail.com

УСТОЙЧИВОСТЬ И ТОЧНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОДНОГО КЛАССА ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ

Методом функций Ляпунова исследуются устойчивость и точность функционирования одного класса гибридных систем, описываемых линейными дифференциальными уравнениями в обыкновенных и частных производных. Исходные уравнения высокого порядка путём введения дополнительных переменных представляются системой уравнений первого порядка.

Ключевые слова: *устойчивость, точность функционирования, гибридные системы, метод функций Ляпунова.*

1. Постановка задачи. Рассмотрим систему, одно из звеньев которой описывается гиперболическим уравнением

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = a_0(x) \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + a_1(x) \cdot \frac{\partial y}{\partial x} + a_2(x) \cdot \frac{\partial y}{\partial t} + a_3(x) \cdot y, \quad (1)$$

$$x \in (0,1), a_0(x) \geq \text{const} > 0,$$

а другие звенья – уравнениями

$$\frac{dz}{dt} = D_0 \cdot z + D_1 \cdot \varphi(0,t) + D_2 \cdot \varphi(1,t), \quad (2)$$

где $t \in I = [0, \infty)$, $y = y(x,t)$ – функция состояния распределённого звена, $z = z(t)$ – m -мерный вектор-функция состояния конечномерных звеньев, $a_0(x)$ – непрерывная функция со своей первой производной, $a_i(x)$ ($i = \overline{1,3}$) – непрерывные функции, D_i ($i = \overline{0,2}$) – постоянные матрицы.

Уравнение (1) преобразуем в систему уравнений первого порядка. Для этого введём новые переменные $\varphi_1 = y(x,t)$, $\varphi_2 = \partial \varphi_1 / \partial t$, $\varphi_3 = \partial \varphi_1 / \partial x$. В этих переменных запишем исходное уравнение (1), к которому добавим условие интегрируемости $\partial^2 y / \partial x \partial t = \partial^2 y / \partial t \partial x$. Таким образом, получим систему

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = \varphi_2, \quad \frac{\partial \varphi_1}{\partial x} = \varphi_3, \quad \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = a_0 \cdot \frac{\partial \varphi_3}{\partial x} + a_1 \cdot \varphi_3 + a_2 \cdot \varphi_2 + a_3 \cdot \varphi_1, \quad \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_2}{\partial x},$$

эквивалентную уравнению (1) [1]. Эту систему, вводя вектор $\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3)^T$ и матрицы

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad A_0 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix},$$

запишем в векторно-матричном виде

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = A(x) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x} + A_0(x) \cdot \varphi, \quad B \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x} + B_0 \cdot \varphi = 0. \quad (3)$$

При $x = 0$ и $x = 1$ заданы граничные условия

$$\Gamma_1 \cdot \varphi(0,t) = \Gamma_2 \cdot z, \quad \Gamma_3 \cdot \varphi(1,t) = \Gamma_4 \cdot z, \quad (4)$$

где $\Gamma_1, \dots, \Gamma_4$ – матрицы постоянных.

Уравнениями типа (2) – (4) описываются, например, системы, содержащие упругие валы, трубопроводы с распределённым характером течения жидкости или газа и т.д.

Введём меру $\rho = \int_0^1 \varphi^T \cdot \varphi \cdot dx$, характеризующую возмущённое состояние распределённого звена.

Технические условия функционирования системы наряду с устойчивостью часто требуют, чтобы отклонения одной или нескольких переменных от их расчётных значений оставались в заданных пределах. При этом отклонения остальных переменных строго не контролируются. Например, в гидравлических системах [2, 3] важно контролировать расход жидкости, подаваемой потребителю, в пневматических системах – давление, а отклонения частоты вращения вала двигателя насоса (компрессора) и деформации упругих элементов строго контролировать не требуется. В связи с вышесказанным рассматривается следующая задача.

Задача. Требуется найти условия, при выполнении которых система (2) – (4) асимптотически устойчива по переменным ρ , z и любое её решение с начальными данными из области

$$\rho(t_0) < H_{00}, \quad |z_i(0)| < H_{0i}, \quad i = \overline{1, m} \tag{5}$$

удовлетворяет условию

$$|z_1(t)| < H_1, \quad t > 0, \tag{6}$$

где $H_{0i} (i = \overline{0, m})$, $H_1 (H_1 > H_{01})$ – заданные положительные числа.

Здесь для определённости контролируются отклонения только одной переменной z_1 .

2. Решение задачи. Для решения задачи используем функцию Ляпунова в виде

$$V = V_1 + V_2 = \int_0^1 \varphi^T(x, t) \cdot F(x) \cdot \varphi(x, t) \cdot dx + z^T(t) \cdot Q \cdot z(t), \tag{7}$$

где $F(x)$, Q – симметричные матрицы: Q – постоянная, а элементы $F(x)$ – непрерывно дифференцируемые функции.

Особенностью системы (2) – (4) является то, что второе уравнение (3) и уравнения (4) не содержат производных по времени. Это не позволяет непосредственно вычислить производную V в силу всей системы. Поэтому сначала вычислим производную dV/dt в силу уравнения (2) и первого уравнения (3):

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} = & \int_0^1 \left[\varphi^T \cdot F \cdot \left(A \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x} + A_0 \cdot \varphi \right) + \left(\frac{\partial \varphi^T}{\partial x} \cdot A^T + \varphi^T \cdot A_0^T \right) \cdot F \cdot \varphi \right] dx + \\ & + z^T \cdot \left(Q \cdot D_0 + D_0^T \cdot Q \right) \cdot z + 2 \cdot \varphi^T(0, t) \cdot D_1^T \cdot Q \cdot z + 2 \cdot \varphi^T(1, t) \cdot D_2^T \cdot Q \cdot z. \end{aligned}$$

Далее, следуя методу множителей Лагранжа, прибавим к этой производной выражение

$$\int_0^1 \left[\varphi^T \cdot P \cdot \left(B \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x} + B_0 \cdot \varphi \right) + \left(\frac{\partial \varphi^T}{\partial x} \cdot B^T + \varphi^T \cdot B_0^T \right) \cdot P \cdot \varphi \right] dx,$$

равное нулю в силу второго уравнения (3). Здесь P – пока произвольная постоянная матрица.

Выполняя интегрирование по частям, получим

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} = & \int_0^1 \left[-\varphi^T \cdot M_1 \cdot \varphi + \frac{\partial \varphi^T}{\partial x} \cdot \left(A^T \cdot F + B^T \cdot P^T - F \cdot A - P \cdot B \right) \right] dx + \\ & + z^T \cdot \left(Q \cdot D_0 + D_0^T \cdot Q \right) \cdot z + 2 \cdot \varphi^T(0, t) \cdot D_1^T \cdot Q \cdot z + 2 \cdot \varphi^T(1, t) \cdot D_2^T \cdot Q \cdot z + \\ & + \varphi^T(1, t) \cdot L(1) \cdot \varphi(1, t) - \varphi^T(0, t) \cdot L(0) \cdot \varphi(0, t), \end{aligned} \tag{8}$$

где $L(x) = F \cdot A + P \cdot B$,

$$M_1(x) = \frac{dL(x)}{dx} - F \cdot A_0 - A_0^T \cdot F - P \cdot B_0 - B_0^T \cdot P^T. \quad (9)$$

Для учёта уравнений (4) также воспользуемся методом множителей Лагранжа. К производной (8) прибавим равенства

$$\begin{aligned} & \left[\varphi^T(0,t) \cdot R_1 + z^T \cdot R_2 \right] \cdot \left[\Gamma_1 \cdot \varphi(0,t) - \Gamma_2 \cdot z \right] + \left[\varphi^T(0,t) \cdot \Gamma_1^T - z^T \cdot \Gamma_2^T \right] \times \\ & \quad \times \left[R_1^T \cdot \varphi(0,t) + R_2^T \cdot z \right] = 0, \\ & \left[\varphi^T(1,t) \cdot R_3 + z^T \cdot R_4 \right] \cdot \left[\Gamma_3 \cdot \varphi(1,t) - \Gamma_4 \cdot z \right] + \left[\varphi^T(1,t) \cdot \Gamma_3^T - z^T \cdot \Gamma_4^T \right] \times \\ & \quad \times \left[R_3^T \cdot \varphi(1,t) + R_4^T \cdot z \right] = 0, \end{aligned}$$

где R_1, \dots, R_4 – пока произвольные постоянные матрицы.

Пусть матрицы F, Q, P, R_1, \dots, R_4 удовлетворяют условиям

$$\begin{aligned} & F \cdot A + P \cdot B = A^T \cdot F + B^T \cdot P^T, \quad x \in (0,1), \\ & D_1^T \cdot Q + \Gamma_1^T \cdot R_2^T - R_1 \cdot \Gamma_2 = 0, \quad D_2^T \cdot Q + \Gamma_3^T \cdot R_4^T - R_3 \cdot \Gamma_4 = 0, \\ & L_1(1) + R_3 \cdot \Gamma_3 + \Gamma_3^T \cdot R_3^T = 0, \quad L_1(0) + R_1 \cdot \Gamma_1 + \Gamma_1^T \cdot R_1^T = 0. \end{aligned}$$

Тогда для производной dV/dt в силу системы (2) – (4) получим

$$\frac{dV}{dt} = - \int_0^1 \varphi^T \cdot M_1(x) \cdot \varphi \cdot dx - z^T \cdot M_2 \cdot z, \quad (10)$$

где

$$M_2 = -Q \cdot D_0 - D_0^T \cdot Q + R_2 \cdot \Gamma_2 + \Gamma_2^T \cdot R_2^T + R_4 \cdot \Gamma_4 + \Gamma_4^T \cdot R_4^T. \quad (11)$$

Решение задачи дают условия:

- функционал V_1 (7) непрерывен и определён положительно по мере ρ ;
- функция V_2 (7) определён положительно;
- производная (10) определён отрицательно по переменным ρ, z ;
- имеет место неравенство

$$C_1 < C_2, \quad (12)$$

где

$$C_1 = \sup \left[V | \rho < H_{00}, \quad |z_i| < H_{0i}, \quad i = \overline{1, m}, \quad t = 0 \right], \quad (13)$$

$$C_2 = \inf \left[V | |z_i| < H_1, \quad |z_i| < \infty, \quad i = \overline{2, m}, \quad \rho < \infty, \quad t \in I \right] \quad (14)$$

Действительно, условий а), б), с) достаточно для асимптотической устойчивости системы (2) – (4) [1], а выполнение оценки (6) вытекает из неравенств $V(t) < V(0) \leq C_1 < C_2$, которые согласно условиям а), б), с), d) имеют место на любом решении системы (2) – (4), исходящем из области (5).

Пусть матрица $F(x)$ определён положительно при любом $x \in (0,1)$. Тогда функционал V_1 с учётом ограниченности элементов матрицы $F(x)$ удовлетворяет условиям

$$\lambda_1 \cdot \rho \leq V_1 \leq \lambda_2 \cdot \rho, \quad \lambda_1, \lambda_2 - \text{const} > 0, \quad (15)$$

где λ_1, λ_2 – числа, ограничивающие характеристические числа матрицы $F(x)$ снизу и сверху соответственно.

Предположим, что матрица Q также определённо положительна. Тогда функция V_2 удовлетворяет неравенствам [1]

$$\frac{\Delta z_i^2}{\Delta_i} \leq V_2 \leq \sum_{i,j=1}^m |q_{ij}| |z_i| |z_j|, \quad i = \overline{1, m}, \quad (16)$$

где q_{ij} – элементы матрицы Q , $\Delta = \det Q$, Δ_i – дополнение к i -тому диагональному элементу Δ .

В соответствии с (13) – (16) примем

$$C_1 = \lambda_2 \cdot H_{00} + \sum_{i,j=1}^m |q_{ij}| \cdot H_{0i} \cdot H_{0j}, \quad C_2 = \frac{\Delta H_1^2}{\Delta_1}.$$

Условие (12) запишется:

$$\lambda_2 \cdot H_{00} + \sum_{i,j=1}^m |q_{ij}| \cdot H_{0i} \cdot H_{0j} < \frac{\Delta H_1^2}{\Delta_1}. \quad (17)$$

Таким образом, условия а), б), с), d) будут выполняться, если матрицы Q (7), M_2 (11) – определённо положительные, матрицы $F(x)$ (7), $M_1(x)$ (9) – определённо положительные при любом $x \in (0,1)$ и выполняется неравенство (17).

3. Заключение. Преобразование дифференциальных уравнений в частных производных в систему уравнений первого порядка совместно с записью обыкновенных дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши позволило разработать общую конструктивную методику исследования устойчивости и точности функционирования рассмотренного здесь класса гибридных систем.

Список литературы

1. Байрамов Ф.Д. Устойчивость и оптимальная стабилизация систем с распределенными параметрами. – М.: Машиностроение, 1995. – 160 с.
2. Байрамов Ф.Д., Байрамов Б.Ф., Фардеев А.Р. Модернизированная система подачи смазочно-охлаждающих технологических средств металлорежущих станков и исследование её динамики // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 125-128.
3. Байрамов Ф.Д., Байрамов Б.Ф. Автоматическое регулирование скорости подачи заготовки в шлифовальных станках // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 2. – С. 44-47.

01.01.00

¹А.А. Демчук, ²С.С. Новикова

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж

¹206 кафедра математики, angel_2268@mail.ru²21 НИО НИЦ (ППО и УА ВВС), sv281174@rambler.ru**РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА ОДНОГО КЛАССА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ**

В работе представлены результаты изучения влияния сильных нелинейностей на динамику систем, находящихся под внешним периодическим воздействием резонансной частоты. Устанавливается диссипативность таких систем при малых амплитудах внешнего воздействия и недиссипативность при больших.

Ключевые слова: *динамические системы, диссипативность, недиссипативность, периодическое воздействие, гистерезисные свойства.*

Многие важные в практическом отношении задачи сводятся к исследованию динамических систем с гистерезисными свойствами. Такие системы демонстрируют гистерезисное поведение, обусловленное либо ее внутренней структурой, либо наличием отдельных блоков с гистерезисными особенностями. В работах [1-3] рассматриваются динамические свойства таких систем, формализуемые в виде функциональных соотношений.

Рассмотрим системы, динамика которых описывается уравнениями:

$$z' = Az + b(\varphi(t) + y(t)), \quad (1)$$

$$y(t) = \Gamma[\omega_0] x(t), \quad (2)$$

$$x(t) = z(t) \cdot c, \quad (3)$$

где $z(t)$ – переменный вектор со значениями в \mathbb{R}^n ; A – постоянная матрица размерности $n \times n$; b, c – фиксированные векторы из \mathbb{R}^n . Уравнение (2) описывает входно-выходные соответствия гистерезисного преобразователя [4], $\varphi(t)$ – скалярная T -периодическая функция с нулевым средним.

Уравнения (1) – (3) описывают динамику системы управления, обратная связь которой включает в себя нелинейность, на вход которой поступает периодическая функция $\varphi(t)$ (Рис.1). Вектор $z(t)$ трактуется как переменное состояние линейного звена, $x(t)$ – выход линейного звена.

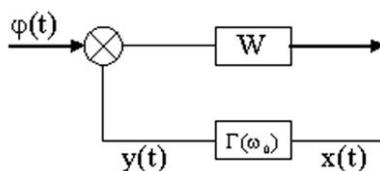


Рис. 1 – Блок-схема автоматического регулирования с гистерезисной обратной связью

Рассмотрим вопрос об ограниченных решениях системы (1)–(3) в ситуации, когда спектр линейной части системы совпадает со спектром внешнего сигнала.

Система (1) – (3) называется диссипативной, если существует такое $\rho > 0$, что для всех $r > 0$ будет выполнено

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} \sup_{\|z(0)\| < r, \omega \in \Omega} (\|z(t)\| + |y(t)|) \leq \rho, \quad (4)$$

где Ω – пространство состояний гистерезисного преобразователя. Начальные состояния

ω_0 и z_0 предполагаются согласованными, в том смысле, что для преобразователя $\Gamma[\omega_0]$, находящегося в начальном состоянии ω_0 , вход $x(t)$, ($t \geq 0$) является допустимым.

Приведем описание гистерезисных преобразователей, фигурирующих в системе (1) – (3). Пару неубывающих функций $y = u_-(x)$ и $y = u_+(x)$ назовем правильной, если существуют такие x_-, x_+ и y_-, y_+ , что выполняются условия:

$$u_-(x) = u_+(x) = y_-, (x \leq x_-); \quad u_-(x) = u_+(x) = y_+, (x \geq x_+); \quad (5)$$

$$u_-(x) \leq u_+(x), \quad x \in (-\infty; +\infty); \quad \int_{-\infty}^{+\infty} (u_+(x) - u_-(x)) dx = u_0 > 0. \quad (6)$$

Преобразователь Γ назовем согласованным с парой $u_-(x), u_+(x)$, если при некотором $M > 0$ для функции $x(t)$ невозрастающей на промежутке $[t_0; t_1]$ из соотношений $x(t_0) \geq M, x(t_1) \leq -M$ вытекает справедливость равенств $y(t) = u_+(x(t))$. Аналогично для неубывающей функции $x(t)$ из соотношений $x(t_0) < -M, x(t_1) > M$ вытекает равенство $y(t) = u_-(x(t))$. Операторы, соответствующие неидеальному реле, обобщенному люфту с насыщением, преобразователю Прейсаха с финитным носителем меры [4], являются согласованными с некоторыми парами функций.

Пусть преобразователь Γ согласован с некоторой правильной парой функций. Для периодических входов с достаточно большой амплитудой (и нулевым средним) петля гистерезиса, описываемая в координатах $x, y, y(t) = \Gamma[\omega_0]$, обегается против хода часовой стрелки. Поэтому [5], «гистерезисная» часть системы (1) – (3) способствует уменьшению амплитуды колебаний решений. С другой стороны, резонансное слагаемое $\varphi(t)$ способствует неограниченному возрастанию амплитуды колебаний решения. Сравнение интенсивностей этих факторов с математической точки зрения можно трактовать как вопрос о диссипативности системы (1) – (3).

В дальнейшем будем предполагать, что матрица A имеет два мнимых собственных числа $\lambda_{1,2} = \pm \frac{2\pi i}{T}$, остальной спектр лежит в левой части комплексной плоскости.

Обозначим через P оператор ортогонального проектирования на инвариантное для матрицы A подпространство, соответствующее мнимым собственным числам. Если $Pb = 0$, то система заведомо диссипативна. Рассмотрим случай, когда $Pb \neq 0$. Справедливо следующее утверждение:

Существуют такие константы C_1 и C_2 , что при выполнении неравенства $\|\varphi(t)\|_{L_{[0,T]}} < C_1$ система (1) – (3) диссипативна, а при выполнении неравенства $\|\varphi(t)\|_{L_{[0,T]}} > C_2$ – недиссипативна.

В силу сделанных предположений о структуре спектра матрицы A существует невырожденное преобразование B такое, что $B^{-1}AB = \tilde{A}$, где матрица \tilde{A} имеет вид:

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{-2\pi}{T} & 0 & \dots & 0 \\ \frac{2\pi}{T} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_n \end{pmatrix}$$

Введем новую вектор-функцию $a = Bz$. Тогда система (1) – (3) будет иметь вид

$$a' = \tilde{A}a + \tilde{b}(\varphi(t) + y(t)), \quad (7)$$

$$y(t) = \Gamma[\omega_0]\tilde{x}(t), \quad (8)$$

$$\tilde{x}(t) = B^{-1}a \cdot c, \quad (9)$$

где $\tilde{b} = Bb$.

В силу структуры матрицы \tilde{A} диссипативность системы будет определяться ее первыми двумя уравнениями в покомпонентной записи:

$$a'_1 = -\frac{2\pi}{T}a_2 + \tilde{b}_1(\varphi(t) + y(t)), \quad (10)$$

$$a'_2 = \frac{2\pi}{T}a_1 + \tilde{b}_2(\varphi(t) + y(t)) \quad (11)$$

и уравнениями (8) и (9).

В полярных координатах уравнения (10), (11) будут иметь вид:

$$r' = -\tilde{b}_1(\varphi(t) + y(t)) \cdot \sin\theta - \tilde{b}_2(\varphi(t) + y(t)) \cdot \cos\theta \quad (12)$$

$$\theta' = \frac{2\pi}{T} + \frac{1}{r}(\tilde{b}_1(\varphi(t) + y(t)) \cdot \cos\theta + \tilde{b}_2(\varphi(t) + y(t)) \cdot \sin\theta) \quad (13)$$

$$y(t) = \Gamma[\omega_0]x(t), \quad x(t) = B^{-1}a \cdot c,$$

В переменных $r, \psi = \frac{2\pi}{T}t - \theta$ эта система примет вид:

$$r' = -\tilde{b}_1(\varphi(t) + y(t)) \cdot \sin(t + \psi) - \tilde{b}_2(\varphi(t) + y(t)) \cdot \cos(t + \psi),$$

$$y(t) = \Gamma[\omega_0]x(t), \quad x(t) = B^{-1}a \cdot c.$$

При достаточно большом r_0 решение этой системы, удовлетворяет начальным условиям $r(0) = r_0, \psi(0) = \psi_0$, существует и единственно на промежутке $[0; t_1]$.

Обозначим решение этой системы через $r(t, r_0, \psi_0), \psi(t, r_0, \psi_0), t \in [0; t_1]$.

Введем функции:

$$f_1(r, \psi) = -\frac{u_0}{rT} + \frac{\tilde{b}_1 \cdot \cos\psi + \tilde{b}_2 \cdot \sin\psi}{2}, \quad (14)$$

$$y_1(r, \psi) = \frac{1}{2r}(|\tilde{b}_1| + |\tilde{b}_2| + \|\varphi\| \cdot \sin\psi). \quad (15)$$

Рассмотрим вспомогательную систему:

$$r' = f_1(r, \psi), \quad (16)$$

$$\psi' = y_1(r, \psi). \quad (17)$$

Решения этой системы, отвечающие начальным условиям $\psi(0) = \psi_0, r(0) = r_0$ обозначим через $r_1(t, r_0, \psi_0)$ и $\psi_1(t, r_0, \psi_0)$. Можно показать, что при достаточно большом r_0 верна оценка

$$|\psi_1(T, r_0, \psi_0) - \psi(T, r_0, \psi_0)| < \frac{u_1}{r_0^2} \quad (18)$$

при некотором $u_1 > 0$. Поэтому для любого $u_2 > 0$ найдется такая константа C_1 , что при выполнении неравенства $\|\varphi(t)\|_{L_{[0, T]}} < C_1$

и при достаточно большом r_0 будет верно соотношение

$$|r_1(t_2, r_0, \psi_0) - \psi(t_2, r_0, \psi_0)| < \frac{u_2}{r_0}, \quad (19)$$

где $t_2 = T - \frac{\tilde{b}_1 \cdot \cos \psi_0 + \tilde{b}_2 \cdot \sin \psi_0}{r_0}$, кроме того при некотором $u > 0$ будет выполняться

$$|\Psi_1(t_2, r_0, \psi_0) - \Psi(t_2, r_0, \psi_0)| < \frac{u_3}{r_0^2}. \quad (20)$$

Положим $E(r, \psi) = r(C_1 + \tilde{b}_1 \cdot \sin \psi + \tilde{b}_2 \cdot \cos \psi)^{-1}$. Производная этой функции в силу системы (16), (17) определяется равенством $E'(r, \psi) = -\frac{u_0}{Tr}$, следовательно,

$$E(r_1(t_2, r_0, \psi_0), \Psi_1(t_2, r_0, \psi_0)) \leq E(r_0, \psi_0) - \frac{u_0 t_2}{Tr_0}.$$

Из неравенств (18), (19) следует, что при малых C_1 и больших r_0 верно неравенство $E(r(t_2, r_0, \psi_0), \Psi(t_2, r_0, \psi_0)) \leq E(r_0, \psi_0) - \frac{u_0 t_2}{2Tr_0}$,

которое означает [5], что система (16), (17) диссипативна.

Для доказательства недиссипативности системы (14), (15) достаточно убедиться в том, что при больших $\|\varphi(t)\|_{L_{[0,T]}}$ векторное поле, порожаемое оператором сдвига за время T по ее траекториям, имеет нулевое вращение на сферах достаточно большого радиуса с центром в начале координат. В силу приведенных оценок и теорем о совпадении вращений близких векторных полей [6] достаточно установить это для системы (16), (17). А это проверяется непосредственно. Утверждение доказано.

Из него следует, что влияние гистерезисных нелинейностей на динамику систем качественно отличается от линейного вязкого трения, подавляющего тенденцию к неограниченному возрастанию амплитуды колебаний под действием резонансной внешней силы любой амплитуды. Аналогичное утверждение оказывается верным для более широких классов нелинейностей, в частности, преобразователя Прейсаха с нефинитным носителем меры.

В заключение отметим, что уравнения, близкие к рассматриваемым в работе, описывают ферромагнитное трение при колебаниях маятника в неоднородном магнитном поле, некоторые модели теории катастроф и т.д. [7], [8]. Для анализа их диссипативности вполне применимы различные модификации схемы, предложенной в работе.

Список литературы

1. *Semenov M.E., Meleshenko P.A., Solovyov A.M., Semenov A.M.* Hysteretic Nonlinearity in Inverted Pendulum Problem in Structural Nonlinear Dynamics and Diagnosis (Mohamed Belhaq, Ed.), Springer Proceedings in Physics, v. 168 pp. 463-507, 2015;
2. *Семенов М.Е.* Стабилизация, рассинхронизация и оптимальное управление обратным маятником с гистерезисными свойствами / Грачиков Д.В., Лебедев Г.Н., Семенов М.Е., Канищева О.И. // Вестник ВГУ: научный журнал. Сер. Системный анализ и информационные технологии – Воронеж. гос. ун-т, 2013. – № 1. – С.29-37.
3. *М.Е. Семенов, А.Г. Рукавицын, О.И. Канищева, А.Е. Пигарев* Адаптивное управление неустойчивым объектом с гистерезисными свойствами // Вестник ВГУ: научный журнал. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2014. – № 1. – С.40-44.
4. *Красносельский М.А., Покровский А.В.* Системы с гистерезисом. М., Наука, 1983, 271 с.
5. *Покровский А.В.* Системы с сильными нелинейностями. // В кн.: Математическая теория систем. М., Наука, 1989, С. 96-112.
6. *Красносельский М.А., Забрейко П.П.* Геометрические методы нелинейного анализа. М., Наука, 1975, 325 с.
7. *Семенов М.Е.* Математическое моделирование устойчивых периодических режимов в системах с гистерезисными нелинейностями. Воронеж. – Издательство ВГУ. – 2002, 104 С.
8. *Покровский А.В., Семенов М.Е.* Устойчивые периодические режимы в системах с монотонными нелинейностями. // Автоматика и телемеханика, 1990, № 2, С. 31-37.

01.01.06

В.В. Дружинин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт, кафедра высшей математики
г. Саров, vvdr@newmail.ru

АЛГЕБРА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОГРЕССИЙ

Получены новые формулы для действий с суммами геометрических прогрессий. Найдена связь сумм геометрических прогрессии и сумм Бернулли. Указаны приложения.

Ключевые слова: *сумма членов геометрической прогрессии, биномиальный коэффициент, полиномы Бернулли.*

Конечная сумма членов геометрической прогрессии определяется формулой

$$G(a; n; 1) = \sum_{k=0}^n a^k = 1 + a + a^2 + \dots + a^n = \frac{a^{n+1}-1}{a-1}. \quad (1)$$

В работах автора [1,2] была получена формула возведения этой суммы в произвольную натуральную степень t

$$G(a; n; t) \equiv \left(\sum_{k=0}^n a^k\right)^t = \left(\frac{a^{n+1}-1}{a-1}\right)^t = \sum_{k=0}^{nt} c_k(n, t) a^k, \quad (2)$$

где коэффициенты $c_k(n, t)$ рассчитываются по формуле

$$c_k(n, t) = \sum_{p=0}^s (-1)^p \binom{t}{p} \binom{t+k-1-p-pn}{t-1}. \quad (3)$$

В (3) $\binom{t}{p} = t!/p!(t-p)!$ – биномиальный коэффициент. $s = \left\lfloor \frac{k}{n+1} \right\rfloor$ – наибольшее целое число, не превышающее $(k/n + 1)$. При этом $c_k(n, t) = c_{nt-k}(n, t)$, т.е. по их величинам имеет место зеркальное отражение. Если nt – число четное, то наибольший коэффициент $c_k(n, t)$ возникает при $k = nt/2$; при nt нечетном наибольших равных коэффициентов два при $k = (nt \mp 1)/2$. Пользуясь степенной суммой (2) мы можем складывать, вычитать, интегрировать, дифференцировать, возводить в степени и логарифмировать суммы геометрических прогрессий.

Рассмотрим вначале возведение в степень «неполную степень двух чисел». Под «неполной степенью l » (« l » квадрат, куб и так далее) суммы двух чисел понимается следующая конструкция (введено новое обозначение $\{l\}$)

$$L(a; b; l; 1) \equiv (a + b)^{\{l\}} \equiv \sum_{k=0}^l a^{l-k} b^k = a^l + a^{l-1}b + \dots + ab^{l-1} + b^l. \quad (4)$$

С помощью (4) записывают разложение $(a^l \pm b^l) = (a \pm b)(a \mp b)^{\{l-1\}}$ при нечетных l , и со знаком « $-$ » слева при четных l . Поскольку из неполной степени выделяется сумма геометрической прогрессии со знаменателем (b/a) , то к ней можно применить формулу (2), т.е.

$$L(a; b; l; t) = [(a + b)^{\{l\}}]^t = \sum_{k=0}^{lt} \left(\sum_{p=0}^s (-1)^p \binom{t}{p} \binom{t+k-1-p-pl}{t-1}\right) a^k b^{tl-k}. \quad (5)$$

Наиболее простой и запоминающийся вид (5) имеет место при $t = 2$. Например, при $l = 3$ получаем

$$\begin{aligned} &(a^3 + a^2b + ab^2 + b^3)^2 = \\ &= a^6 + 2a^5b + 3a^4b^2 + 4a^3b^3 + 3a^2b^4 + 2ab^5 + b^6. \end{aligned}$$

В общем случае последняя сумма обобщается так

$$[(a + b)^{\{l\}}]^2 = \left\{ \sum_{k=0}^{l-1} \binom{k+1}{k} (a^{2l-k} b^k + a^k b^{2l-k}) \right\} + (l+1)a^l b^l. \quad (6)$$

Таким образом, при $t = 2$ коэффициенты линейно возрастают через «1», а потом также линейно убывают.

Возведение «неполной степени» в степень дает такое обобщенное разложение

$$(a^n \pm b^n)^t = (a \pm b)^t \sum_{k=0}^{nt} (\mp 1)^k c_k(n, t) a^k b^{tn-k}. \quad (7)$$

Пример. Рассмотрим случай $L(a; b; 3; 3)$. Тут надо рассчитывать $c_k(3,3)$ для $k = \{0; 1; 2; 3; 4\}$. Имеем: $k = 0 \ s = 0, p = 0, c_0 = 1; k = 1 \ s = 0, p = 0, c_1 = 3!/2! = 3; k = 2 \ s = 0, p = 0, c_2 = 4!/2!2! = 6; k = 3 \ s = 0, p = 0, c_3 = 5!/2!3! = 10; k = 4 \ s = 1, p = \{0; 1\}, c_4 = 15 - 3 = 12$. В результате

$$L(a; b; 3; 3) = a^9 + 3a^8b + 6a^7b^2 + 10a^6b^3 + 12a^5b^4 + 12a^4b^5 + 10a^3b^6 + 6a^2b^7 + 3ab^8 + b^9. \quad (8)$$

Аналогично получаем

$$L(a; b; 2; 3) = (a^2 + ab + b^2)^3 = a^6 + 3a^4b^2 + 6a^4b^2 + 7a^3b^3 + 6a^2b^4 + 3ab^5 + b^6. \quad (9)$$

Полученные формулы можно интегрировать и по « a » и по « b »:

$$\int L(a; b; e; t) da = \sum_{k=0}^{et} \left(\sum_{p=0}^s (-1)^p \binom{t}{p} \binom{t+k-1-p-pe}{t-1} \right) \frac{a^{k+1} b^{te-k}}{k+1}. \quad (10)$$

Их также можно использовать для решения алгебраических уравнений. Например, имеем уравнение пятого порядка

$$2a^5 + 5a^4b + 8a^3b^2 + 7a^2b^3 + 4ab^4 + b^5 = 0. \quad (11)$$

Если мы проинтегрируем (11) по « a » и прибавим $b^6/3$, то получим $(a^2 + ab + b^2)^3 = 0$. Производная от этого равенства по « a » есть $3(a^2 + ab + b^2)^2(2a + b) = 0$. Это уравнение имеет один действительный корень $a = -b/2$ и два двукратных комплексных корня $a = -b(1 \pm i\sqrt{3})/2$. Эти числа есть решение уравнения (11).

При сложении геометрических прогрессий в первой степени одного порядка возникает равенство

$$\sum_{k=0}^n G(k, t, 1) = \sum_{k=1}^n \frac{k^{t+1}-1}{t-1} = \sum_{k=0}^t S(n, 1, k, 1). \quad (12)$$

В (12) используется сумма обобщенной арифметической прогрессии (СОАП), исследованная в статье автора [3]

$$S(n, m, k, d) = \sum_{k=1}^n (d + (k-1)m)^t. \quad (13)$$

При $m = d = 1 \ S(n, 1, t, 1) \equiv B(n, t)$. Это суммы Бернулли, полученные еще триста лет тому назад. Таким образом, (12) связывает суммы членов разных геометрических прогрессий и суммы Бернулли. В частности получаются следующие формулы

$$\sum_{k=1}^n \frac{k^2-1}{k-1} = \frac{n(n+3)}{2}; \quad \sum_{k=1}^n \frac{k^3-1}{k-1} = \frac{n(n^2+3n+5)}{3};$$

$$\sum_{k=1}^n \frac{k^4-1}{k-1} = \frac{n(3n^3+10n^2+15n+20)}{12}. \quad (14)$$

Пример. Пусть есть n скважин, с разным выходом нефти. Выход k -ой скважины на m -ый день работы есть $V(k; m) = k^{m-1}$ баррелей в сутки. Так вторая скважина за три дня работы даст $P(2; 3) = 1 + 2 + 2^2 = 7$ баррелей. Объем добытой нефти за три дня, $t = 3$, по (12) при десяти скважинах, $n = 10$, (вторая формула в (14)) составит 450 баррелей.

Поскольку нами дано обобщение формул Бернулли [3] с отказом от его полиномов и его чисел на случай произвольного интервала m между основаниями СОАП и с произвольным начальным слагаемым « d » в виде рекуррентного соотношения

$$S(n, m, t+1, d) = d^{t+1} \left\{ \frac{m}{d} (t+1) \int_0^n S\left(\zeta; \frac{m}{d}; t; 1\right) d\zeta \right\} + d^{t+1} n \left\{ 1 - \frac{m}{d} (t+1) \int_0^1 S\left(\zeta; \frac{m}{d}; t; 1\right) d\zeta \right\}, \quad (15)$$

то мы можем обобщить связку (11) на случай сумм геометрических прогрессий с новыми параметрами. Учитывая, что

$$S(n, m, 0, d) = n; \quad S(n, m, 1, d) = \frac{mn^2 + n(2d - m)}{2};$$

$$S(n, m, 2, d) = \frac{2m^2n^3 + 3mn^2(2d - m) + n(6d^2 - 6dm + m^2)}{6}, \quad (16)$$

мы можем получить такие формулы для геометрических сумм

$$\sum_{k=1}^n \frac{(d+(k-1)m)^2-1}{(d+(k-1)m)-1} = \frac{mn^2+n(2d-m+2)}{2}; \quad (17)$$

$$\sum_{k=1}^n \frac{(d+(k-1)m)^3-1}{(d+(k-1)m)-1} = \frac{2m^2n^3+3mn^2(2d-m+1)+n(6d(d-m+1)+m^2-3m+6)}{6}. \quad (18)$$

Следующим шагом в алгебре будет обобщение известной школьной формулы $G(a, 1, 1)G(-a, 1, 1) = (1+a)(1-a) = (1-a^2) = G(-a^2, 1, 1)$ на общий случай.

Получаются следующие соотношения

$$G(a, 2n+1, 1)G(-a, 2n+1, 1) = G(a^2, 2n, 1)G(-a^{2n+1}, 1, 1), \quad (19)$$

$$G(a, 2n, 1)G(-a, 2n, 1) = G(a^2, 2n, 1). \quad (20)$$

Например, $(1+a+a^2)(1-a+a^2) = 1+a^2+a^4$. Можно перемножать и большее количество прогрессий. Например, $G(a, 2, 1)G(a, 2, 1)G(-a, 2, 1) = (1+a+2a^2)(1+a^3)$.

Приведем также формулу перемножения прогрессий в квадратах:

$$G^2(a, 2n, 1)G^2(-a, 2n, 1) = G(a, 2n, 2)G(-a, 2n, 2) = G(a^2, 2n, 2). \quad (21)$$

$$G^2(a, 2n+1, 1)G^2(-a, 2n+1, 1) = G(a^2, 2n, 2)G(-a^{2n+1}, 1, 2). \quad (22)$$

Формулы (2,3) позволяют также возводить бесконечные суммы (ряды) убывающих геометрических прогрессий в произвольную натуральную степень [4]. Существуют формулы возведения степенных рядов, в том числе и бесконечных сумм убывающих прогрессией. Но они даны не в явном виде, а через рекуррентные соотношения. Формула (2) позволяет получить явный вид такого ряда. При $|a| < 1$

$$G(a; \infty; t) \equiv \left(\sum_{k=0}^{\infty} a^k\right)^t = \left(\frac{1}{1-a}\right)^t = \sum_{k=0}^{\infty} c_k(\infty, t)a^k, \quad (23)$$

где коэффициенты $c_k(n, t)$ рассчитываются по формуле

$$c_k(\infty, t) = \binom{t+k-1}{t-1}. \quad (24)$$

Поскольку $s = 0$, то в сумме (3) остается одно слагаемое с $p = 0$, что и дает (24). Например,

$$\left(\frac{1}{1-a}\right)^2 = \sum_{k=0}^{\infty} (k+1)a^k; \quad \left(\frac{1}{1-a}\right)^3 = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(k+1)(k+2)}{2} a^k. \quad (25)$$

Отсюда следует, что при $a > 1$ можно представить в виде ряда любое число вида

$$a^t = \sum_{k=0}^{\infty} \binom{t+k-1}{t-1} \left(\frac{a-1}{a}\right)^k. \quad (26)$$

Поскольку сумма обыкновенной геометрической прогрессии широко применяется в современной математике, а большинства полученных формул нет в справочниках и монографиях [4-7], то мы уверены, что результаты статьи также найдут применение: сократят расчеты и доказательства теорем.

Список литературы

1. Дружинин В.В., Конькова М.И. // НТВП, № 6, стр. 13-15, 2016.
2. Druzhinin V.V., Lebedev I.M., Chernichenko I. E. European Science Review, № 11-12, p. 34-35, 2016.
3. Druzhinin V.V., Strahov A.V. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, № 9-10, 2017.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике, наука, ГИМФЛ, М., 1974 г., стр. 144.
5. Прасолов В.В. Многочлены. МЦИМО, 2003 г., стр. 131.
6. Грэхем З., Кнут Д., Паташник О. Конкретная математика, М., «Мир», стр. 313, 1998.
7. Градштейн И.С., Рыжик И.М.. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. ГИМФЛ, Москва, 1962. стр. 15-16.

01.01.00

Е.А. Микишанина

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова
Чебоксары, evaeva_84@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТУРОВ ОБВОДНЕНИЯ В ЗАДАЧАХ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

В работе представлены результаты численного моделирования контуров обводнения (кривых депрессии) плоской пористой области от источника с гладкой выпуклой границей: предложен численный алгоритм определения скоростей фильтрации методом граничных элементов, построены кривые депрессии для круглого и эллиптического источников.

Ключевые слова: численный метод, фильтрация, кривая депрессии.

В вопросах орошения, обводнения нефтеносных скважин и угленосных пластов часто возникает проблема определения формы областей обводнения среды от источника жидкости. Нахождение контуров подобных областей (кривых депрессии) с последующим управлением процессами обводнения позволяет обеспечить высокую эффективность мелиорации и хорошие показатели нефте- и угледобычи.

В рамках закона Дарси рассматривается плоская пористая область с постоянным коэффициентом фильтрации k , в которой помещен источник жидкости с выпуклой гладкой замкнутой границей. Определение скоростей фильтрации и кривых депрессии аналитически возможно лишь для некоторых источников, например, круглых. Моделирование для источников произвольной формы можно провести численно методом граничных элементов. Рассмотрим ряд аспектов численного моделирования процесса стационарной фильтрации.

Численное моделирование процесса стационарной фильтрации. Давление жидкости в рамках закона Дарси в плоской области с замкнутой границей описывается гармонической функцией:

$$\Delta P = 0, \quad (1)$$

где $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ - оператор Лапласа.

Граничные условия определяются в зависимости от моделируемого сценария. В случае проницаемой границы для двусвязной области они могут иметь вид

$$P|_{(\partial T)_1} = P_1, \quad P|_{(\partial T)_2} = P_2. \quad (2)$$

В соответствии с интегральной формулой Грина давление в каждой точке области z можно определить из тождества, [1,2]

$$\varepsilon P(z) = \oint_{\partial T} P_n(\tau) G(\tau) ds - \oint_{\partial T} P(\tau) G_n(\tau) ds, \quad (3)$$

где $\varepsilon = 0.5$ для точки на границе и $\varepsilon = 1$ для внутренней точки.

Если границу аппроксимировать вписанным N -угольником с вершинами в точках z^k и в средних (контрольных) точках Z^k определить значения давления и его нормальной производной P^k и P_n^k , то формулы для компонент скорости фильтрации u , v в произвольной точке z примут вид

$$u(z) = -\frac{k}{\rho g} \sum_{j=1}^N [P_n^j B_1^j - P^j A_1^j], \quad v(z) = -\frac{k}{\rho g} \sum_{j=1}^N [P_n^j B_2^j - P^j A_2^j], \quad (3)$$

где

$$B_1^j(z) = \frac{\partial \left(\int_{s_{j-1}}^{s_j} G(s, z) ds \right)}{\partial x}, \quad B_2^j(z) = \frac{\partial \left(\int_{s_{j-1}}^{s_j} G(s, z) ds \right)}{\partial y},$$

$$A_1^j(z) = \frac{\partial \left(\int_{s_{j-1}}^{s_j} G_n(s, z) ds \right)}{\partial x}, \quad A_2^j(z) = \frac{\partial \left(\int_{s_{j-1}}^{s_j} G_n(s, z) ds \right)}{\partial y}.$$

Если точка принадлежит сегменту интегрирования (s_{j-1}, s_j) , то

$$B_1^j = 0, \quad B_2^j = 0, \quad A_1^j = -\frac{2}{\pi} \frac{y^j - y^{j-1}}{h_j^2}, \quad A_2^j = \frac{2}{\pi} \frac{x^j - x^{j-1}}{h_j^2},$$

где h_j - длина j -го сегмента интегрирования.

Числовой пример. Для сравнения численных и аналитических результатов определены скорости стационарной фильтрации в кольце с внутренним и внешним радиусами R_1, R_2 и давлениями p_1 и p_2 . Аналитические формулы определения компонент скорости имеют вид

$$u = -\frac{k}{\rho g} \frac{(p_2 - p_1)x}{(x^2 + y^2) \ln(R_2 / R_1)}, \quad v = -\frac{k}{\rho g} \frac{(p_2 - p_1)y}{(x^2 + y^2) \ln(R_2 / R_1)}.$$

Графики компонент скорости построены на круге радиусом $(R_1 + R_2)/2$: $R_1 = 0.75$, $R_2 = 1$, $p_1 = 10^5$, $p_2 = 0$, $s \in [0, \pi]$. Число граничных элементов $N = 60$, (рис. 1). Аналитически найденные функции изображены сплошной линией, численно определенные – точечно.

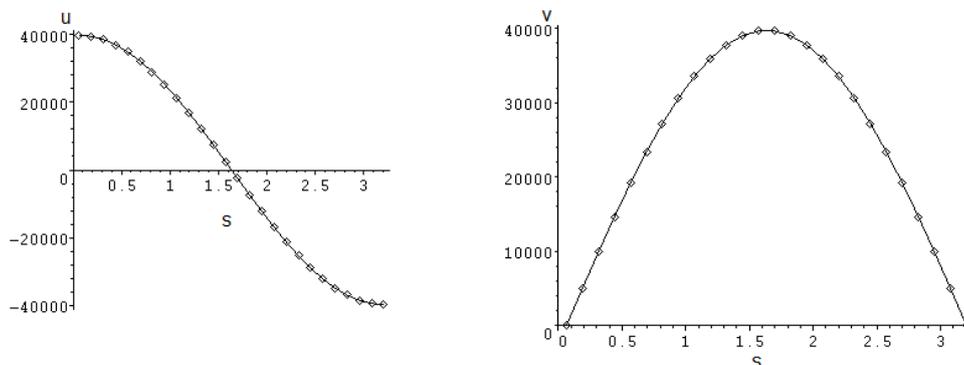


Рис. 1. Графики компонент скорости стационарной фильтрации

Численный алгоритм определения контуров обводнения.

Постановка задачи. От источника с гладкой выпуклой замкнутой границей $C_0 = (x_0(s), y_0(s))$ и давлением жидкости на этой границе p_0 , помещенного в области T , в которой действует атмосферное давление p_a , начинается процесс неустановившейся фильтрации. Необходимо определить контуры постепенного обводнения области.

Так как движение жидкости направлено противоположно нормали к контуру источника, то начальную скорость можно определить как [3]

$$\mathbf{v} = \frac{k(p_a - p_0)}{\rho g} \cdot \mathbf{n}, \quad (4)$$

где \mathbf{n} - вектор-нормаль к контуру источника. Таким образом, через сколь угодно малый промежуток времени Δt процесса фильтрации кривая депрессии $C_1 = (x_1(s), y_1(s))$ определится из равенств:

$$x_1(s) = x_0(s) + u\Delta t, \quad y_1(s) = y_0(s) + v\Delta t, \quad (5)$$

Далее задача сводится к решению гармонического уравнения (1) в области, ограниченной кривыми C_0, C_1 , с граничными условиями

$$P|_{C_0} = p_0, \quad P|_{C_1} = p_a,$$

и определению по формуле (3) компонент скорости уже на контуре C_1 .

Новая кривая депрессии будет находиться итерационно по формулам:

$$x_i(s) = x_{i-1}(s) + u_{i-1}\Delta t, \quad y_i(s) = y_{i-1}(s) + v_{i-1}\Delta t,$$

в которых компоненты u_{i-1}, v_{i-1} определяются на $(i - 1)$ -ом контуре.

Пример 1 (определение кривых депрессии в области с круглым источником). От источника с границей $C: x = a \cos s, y = -a \sin s, s \in [0, 2\pi)$, происходит нестационарная фильтрация. На контуре источника давление составляет p . В соответствии с описанным численным алгоритмом при $a = 1, p = 10^5, k\Delta t/\rho g = 10^{-6}$ и числе узлов $N = 60$ получены контуры постепенного обводнения области. На каждом шаге определены эксцентриситеты кривых (табл.1). На рисунке 2 представлена динамика изменения компонент скорости фильтрации на смоделированных контурах, $s \in [0, \pi]$.

Таблица 1. Эксцентриситеты кривых депрессии (круглый источник)

Номер шага, i	1	2	3	4	5	6	7
Эксцентриситет, ε	0	0.002	0.0015	0.0019	0.0022	0.0032	0.0041

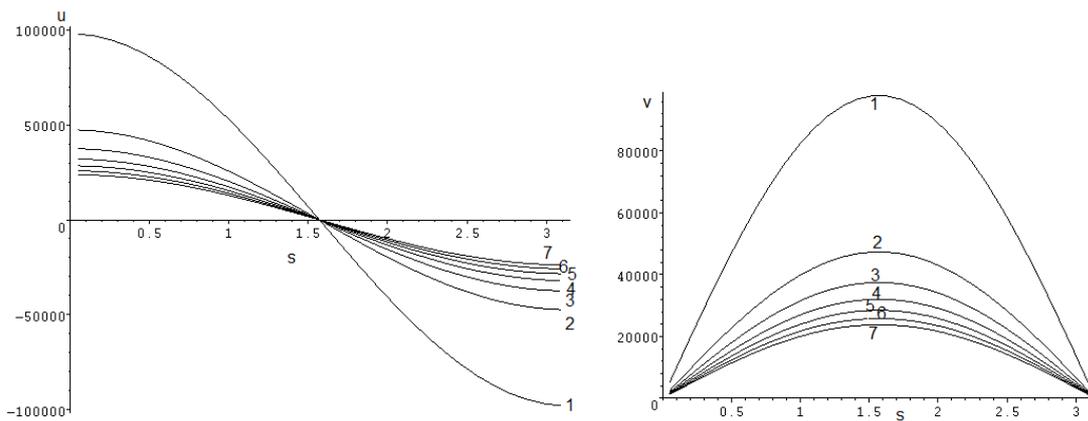


Рис. 2. Динамика изменения компонент скорости движения жидкости

Пример 2 (определение кривых депрессии в области с эллиптическим источником). От источника с границей $C: x = a \cos s, y = -b \sin s, a > b, s \in [0, 2\pi)$ и давлением p происходит нестационарная фильтрация. При $a = 1, b = 0.75, p = 10^5, k\Delta t/\rho g = 10^{-6}$ и числе узлов $N = 60$ получены контуры постепенного обводнения области и динамика абсолютного значения скорости фильтрации на каждом контуре, $i = \overline{1, 7}, s \in [0, \pi]$, (рис. 3). Также на каждом шаге для контроля формы депрессионных кривых определены эксцентриситеты кривых (таблица 2).

Таблица 2. Эксцентриситеты кривых депрессии (эллиптический источник)

Номер шага, i	1	2	3	4	5	6	7
Эксцентриситет, ε	0.661	0.635	0.609	0.596	0.587	0.578	0.571

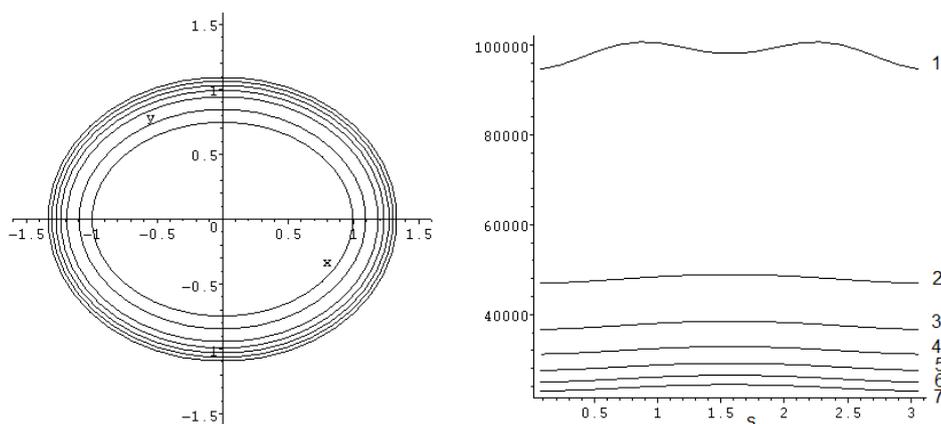


Рис. 3. Кривые депрессии и динамика скорости движения жидкости

Как видно из рассмотренных примеров, контуры обводнения с увеличением линейных размеров приближаются к окружности. Вычисления, проведенные для других источников, показывают, что выше сделанные выводы справедливы для любой гладкой выпуклой границы источника.

В работе был разработан общий алгоритм определения контуров постепенного обводнения области от источника с выпуклой гладкой границей; численно построены кривые депрессии для источников с круглой и эллиптической границей. Точность вычисленной можно контролировать, изменяя количество узлов на границе моделируемой области.

Список литературы

1. Терентьев А.Г., Петрова Т.Н. Применение метода граничных элементов к численному конформному отображению // Известия НАНИ ЧР. – 1996. – № 1. – С. 56-73.
2. Терентьев А.Г., Казакова А.О. Применение полигармонических функций к решению двумерных задач теории упругости // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. – Казань. – 2015. – С. 3703-3706.
3. Баренблатт Б.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. – М.: Недра, 1972. – 288 с.

01.01.02

В.Ш. Ройтенберг к.ф.-м.н.

Ярославский государственный технический университет,
кафедра высшей математики,
Ярославль, vroitenberg@mail.ru

**О ПРЕДЕЛЬНЫХ ЦИКЛАХ ОДНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ
ВТОРОГО ПОРЯДКА НА ОКРУЖНОСТИ**

Дифференциальные уравнения второго порядка на окружности, правые части которых полиномы второго порядка относительно первой производной рассматриваются на компактификации цилиндрического фазового пространства. Получены достаточные условия существования единственного предельного цикла. Описаны бифуркации «бесконечно удаленных» предельных циклов.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения второго порядка на окружности, предельный цикл, бифуркации.

1. Уравнения второго порядка на окружности. Рассмотрим уравнение второго порядка вида $a: \ddot{x} = a_0(x) + a_1(x)\dot{x} + a_2(x)x^2 + \dots + a_n(x)\dot{x}^n$, с ω -периодическими C^r -функциями ($r \geq 0$) $a_i: \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}$, $i = 0, 1, 2, \dots, n$. Мы можем считать, что уравнение задано на окружности $\mathbf{S}^1 = \mathbf{R} / \omega\mathbf{Z}$. Обозначим $A_\omega^{n,r}$ – множество таких уравнений. Пусть $C^r(\mathbf{S}^1)$ – банахово пространство ω -периодических C^r -функций с нормой $\|\varphi\|_r := \max_{x \in \mathbf{R}} \max\{|\varphi(x)|, |\varphi'(x)|, \dots, |\varphi^{(r)}(x)|\}$. Отождествив уравнение a со строкой $(a_0, a_1, a_2, \dots, a_n)$, мы отождествим $A_\omega^{n,r}$ с банаховым пространством $\bigoplus_{i=0}^n C^r(\mathbf{S}^1)$ с нормой $\|a\| = \max_{i \in \{0, 1, \dots, n\}} \|a_i\|_r$. Уравнение $a \in A_\omega^{n,r}$ определяет на $T\mathbf{S}^1 = \mathbf{S}^1 \times \mathbf{R}$ систему уравнений

$$\dot{x} = y, \quad \dot{y} = a_0(x) + a_1(x)y + a_2(x)y^2 + \dots + a_n(x)y^n,$$

которую будем также обозначать a .

В работах автора [1 – 3] рассматривалось уравнение Льенара $a \in \Lambda_\omega^r = A_\omega^{1,r}$. В частности, были исследованы устойчивость и бифуркации «бесконечно удаленных» предельных циклов. В настоящей работе мы получим аналогичные результаты и при $n = 2$. Поведение траекторий уравнения $a \in A_\omega^{n,r}$ «на бесконечности» при $n \geq 3$ принципиально иное и будет рассмотрено в другой работе.

2. Бесконечно удаленные замкнутые траектории. Мы рассматриваем уравнение $a \in A_\omega^{2,r}: \ddot{x} = a_0(x) + a_1(x)\dot{x} + a_2(x)\dot{x}^2$ и соответствующую ему систему

$$a: \dot{x} = y, \quad \dot{y} = a_0(x) + a_1(x)y + a_2(x)y^2. \tag{1}$$

Обозначим $\bar{\mathbf{R}} := \mathbf{R} \cup \{-\infty, +\infty\}$ – двухточечную компактификацию \mathbf{R} . Превратим $\bar{\mathbf{R}}$ в одномерное C^∞ -многообразие с краем, взяв в качестве карт (\mathbf{R}, h_1) , $h_1(x) := x$, $((0, +\infty], h_2)$, $h_2(x) := 1/x$ при $x \in (0, +\infty)$ и $h_2(+\infty) := 0$, $([-\infty, 0), h_3)$, $h_3(x) := 1/x$ при $x \in (-\infty, 0)$ и $h_3(-\infty) := 0$.

В координатах $x, z = 1/y$ система (1) примет вид

$$\dot{x} = 1/z, \quad \dot{z} = -a_0(x)z^2 - a_1(x)z - a_2(x).$$

В областях $\mathbf{S}^1 \times (0, +\infty)$ и $\mathbf{S}^1 \times (-\infty, 0)$ она имеет те же (ориентированные) траектории, что и система уравнений, соответственно,

$$\bar{a}_+ : \begin{cases} \dot{x} = 1, \\ \dot{z} = -a_0(x)z^3 - a_1(x)z^2 - a_2(x)z \end{cases} \quad \text{и} \quad \bar{a}_- : \begin{cases} \dot{x} = -1, \\ \dot{z} = a_0(x)z^3 + a_1(x)z^2 + a_2(x)z. \end{cases}$$

Но системы \bar{a}_+ и \bar{a}_- определены и при $z=0$, то есть, соответственно, на $\mathbf{S}^1 \times (0, +\infty]$ и $\mathbf{S}^1 \times [-\infty, 0)$. Кривые $\Gamma_+ := \mathbf{S}^1 \times \{+\infty\}$ и $\Gamma_- := \mathbf{S}^1 \times \{-\infty\}$ являются траекториями, соответственно, систем \bar{a}_+ и \bar{a}_- . Будем их называть *бесконечно удаленными замкнутыми траекториями* уравнения $a \in A_\omega^{2,r}$.

$$\text{Обозначим } m(a) := -\int_0^\omega a_2(x)dx, \quad \ell(a) := -\int_0^\omega a_1(s) \exp \int_\omega^s a_2(\sigma)d\sigma ds.$$

Ясно, что, если $m(a) \neq 0$, то Γ_+ (Γ_-) – *грубая замкнутая траектория системы \bar{a}_+ (\bar{a}_-)*; она *устойчива*, если $m(a) < 0$ ($m(a) > 0$), и *неустойчива*, если $m(a) > 0$ ($m(a) < 0$).

3. Достаточные условия существования замкнутых траекторий. Если $\forall x \in \mathbf{R}$ $a_0(x) \neq 0$, то уравнение не имеет особых точек, а потому и замкнутых траекторий, гомотопных нулю. Рассмотрим вопрос о существовании замкнутых траекторий, негомотопных нулю.

Теорема 1. *Если для уравнения $a \in A_\omega^{n,r}$ $\forall x \in \mathbf{R}$ $a_0(x) > 0$ и $m(a) > 0$ или $m(a) = 0$, но $\ell(a) > 0$, то уравнение имеет в $\mathbf{S}^1 \times (0, +\infty)$ единственную негомотопную нулю замкнутую траекторию. Эта траектория грубая и устойчивая.*

Доказательство. Так как $m(a) > 0$, то $\Gamma_+ = \mathbf{S}^1 \times \{+\infty\}$ – неустойчивая замкнутая траектория. В точках $(x, 0)$ производная от координаты y в силу системы a равна $a_0(x)$ и потому положительна. Следовательно, любая положительная полутраектория, начинающаяся в точке множества $\mathbf{S}^1 \times (0, +\infty)$, из него не выходит, а потому ω -предельна к замкнутой траектории, принадлежащей $\mathbf{S}^1 \times (0, +\infty)$. Эта замкнутая траектория является траекторией системы \bar{a}_+ и траекторией уравнения Абеля

$$z' = -a_0(x)z^3 - a_1(x)z^2 - a_2(x)z. \quad (2)$$

Так как $\forall x \in \mathbf{R}$ $a_0(x) > 0$, то уравнение (2) имеет не более трех замкнутых траекторий с учетом их кратности [4]. Поэтому $\mathbf{S}^1 \times (0, +\infty)$ принадлежит единственная замкнутая траектория, очевидно, грубая и устойчивая.

Пусть теперь $m(a) = 0$, $\ell(a) > 0$. Обозначим $z(u, x)$ решение уравнения (2), удовлетворяющее начальному условию $z(u, 0) = u$. При достаточно малом $\rho > 0$ и $|u| < \rho$ оно определено для $x \in (-\omega, 2\omega)$ и аналитически зависит от u [5]. Так как $z(0, x) = 0$, то $z(u, x) = \sum_{k=1}^\infty z_k(x)u^k$. Функция $P(u) = z(u, \omega) = z_1(\omega)u + z_2(\omega)u^2 + \dots$ является функцией последования по траекториям системы \bar{a}_+ на трансверсали $x = 0$, $z \in [0, \rho)$. Для функций $z_1(x)$ и $z_2(x)$ получаем дифференциальные уравнения и начальные условия

$$z_1'(x) = -a_2(x)z_1(x), \quad z_1(0) = 1; \quad z_2'(x) = -a_2(x)z_2(x) - a_1(x)z_1^2(x), \quad z_2(0) = 0;$$

из которых последовательно находим

$$z_1(x) = \exp\left(-\int_0^x a_2(s)ds\right), \quad z_1(\omega) = \exp\left(-\int_0^\omega a_2(s)ds\right) = 1,$$

$$z_2(x) = -z_1(x) \int_0^x a_1(s) \exp \int_\omega^s a_2(\sigma)d\sigma ds, \quad z_2(\omega) = \ell(a) > 0.$$

Следовательно, Γ_+ – двойной цикл, к которому α -предельны все траектории из некоторой его окрестности в $\mathbf{S}^1 \times (0, +\infty]$. Отсюда, как и выше, получаем утверждение теоремы.

4. Бифуркации бесконечно удаленных замкнутых траекторий. Как видно из доказательства теоремы 1 бесконечно удаленные замкнутые траектории Γ_+ и Γ_- уравнения $a \in A_{\omega}^{2,r}$ являются двойными циклами тогда и только тогда, когда $m(a) = 0$, $\ell(a) \neq 0$. Условие $m(a) = 0$ задает в $A_{\omega}^{2,r}$ замкнутое линейное подпространство коразмерности один, а условие $\ell(a) \neq 0$ – плотное в нем открытое подмножество B_{Γ} .

Теорема 2. Пусть $a \in B_{\Gamma}$, причем $\ell(a) < 0$. Тогда существуют такая окрестность $U_{\varepsilon}(a) = \{\tilde{a} : |m(\tilde{a})| < \varepsilon, \ell(a) - \varepsilon < \ell(\tilde{a}) < \ell(a) + \varepsilon < \ell(\tilde{a})/2 < 0\}$ уравнения a в $A_{\omega}^{2,r}$ и такие окрестности $V(\Gamma_+)$ и $V(\Gamma_-)$ замкнутых траекторий Γ_+ и Γ_- в $S^1 \times \bar{\mathbf{R}}$, что для любого уравнения $\tilde{a} \in U(a)$: 1) если $m(\tilde{a}) \leq 0$ ($m(\tilde{a}) \geq 0$), то Γ_+ (Γ_-) – единственная замкнутая траектория в $V(\Gamma_+)$ ($V(\Gamma_-)$) при этом она устойчива, 2) если $m(\tilde{a}) > 0$ ($m(\tilde{a}) < 0$), то в $V(\Gamma_+)$ ($V(\Gamma_-)$) существует единственная замкнутая траектория, отличная от Γ_+ (Γ_-), она устойчива и имеет уравнение $z = Z(x, \tilde{a})$, где Z – C^r -функция на $S^1 \times U_{\varepsilon}(a)$, $Z(x, a) \equiv 0$.

Доказательство. Докажем утверждение теоремы для Γ_+ . Для Γ_- доказательство аналогично.

Правая часть уравнения (2) является C^r -функцией от $(x, z, a) \in S^1 \times \mathbf{R} \times A_{\omega}^{2,r}$ и C^{∞} -функцией от $(z, a) \in \mathbf{R} \times A_{\omega}^{2,r}$. Поэтому при достаточно малых $\rho > 0$ и $\varepsilon > 0$ решение $z(x, u, a)$ уравнения $\tilde{a} \in U_{\varepsilon}(a)$, удовлетворяющее начальному условию $z(0, u, a) = u$, $|u| < \rho$, определено для $x \in (-2\omega, 2\omega)$ и является C^r -функцией от x, u, \tilde{a} и C^{∞} -функцией от u, \tilde{a} . Обозначим $d(u, \tilde{a}) = z(\omega, u, \tilde{a}) - u$. Так как $d(0, \tilde{a}) = 0$, то $d(u, \tilde{a}) = u d_1(u, \tilde{a})$, где

$$d_1(u, \tilde{a}) = e^{m(\tilde{a})} - 1 + p(\tilde{a})u + q(u, \tilde{a})u^2, \quad p, q \in C^{\infty}, \quad p(a) = \ell(a). \quad (3)$$

Через точку с координатами $x=0$, $z=u \in (0, \rho)$, проходит замкнутая траектория уравнения \tilde{a} тогда и только тогда, когда $d_1(u, \tilde{a}) = 0$. Ввиду (3) $d_1(0, a) = 0$, $d'_u(0, a) = \ell(a) \neq 0$. Поэтому по теореме о неявной функции числа $\rho > 0$ и $\varepsilon > 0$ можно выбрать так, что $\forall \tilde{a} \in U_{\varepsilon}(a)$ уравнение $d_1(u, \tilde{a}) = 0$, $|u| < \rho$, имеет единственное решение $u = u_1(\tilde{a})$, причем $u_1(\cdot) \in C^r$, $u_1(a) = 0$. Вследствие (3) ρ и ε можно считать столь малыми, что $\text{sgn } u_1(\tilde{a}) = \text{sgn } m(\tilde{a})$. Обозначим $Z(x, \tilde{a}) = z(x, u_1(\tilde{a}), \tilde{a})$. Уменьшив, при необходимости ε , мы можем считать, что $|Z(x, \tilde{a})| < \rho$ при всех $x \in [0, \omega]$, $\tilde{a} \in U_{\varepsilon}(a)$. Окрестность $V(\Gamma_+)$ зададим неравенством $0 \leq z < \rho$. Тогда в $V(\Gamma_+) \setminus \Gamma_+$ при $m(\tilde{a}) \leq 0$ нет замкнутых траекторий уравнения \tilde{a} , а при $m(\tilde{a}) > 0$ такая траектория одна – $\Gamma(\tilde{a}) : z = Z(x, \tilde{a})$. Так как

$$d'_u(u_1(\tilde{a}), \tilde{a}) = u_1(\tilde{a}) d'_{1u}(u_1(\tilde{a})u, \tilde{a}) = u_1(\tilde{a})[\ell(\tilde{a}) + 2u_1(\tilde{a})q(u_1(\tilde{a}), \tilde{a}) + q'_u(u, \tilde{a})u_1^2(\tilde{a})],$$

то ε можно считать столь малым, что производная $d'_u(u_1(\tilde{a}), \tilde{a})$ имеет тот же знак, что и $\ell(a)$, то есть отрицательна. Тем самым, $\Gamma(\tilde{a})$ устойчива. При $m(\tilde{a}) = 0$ $d'_u(0, \tilde{a}) = 0$, $d''_{uu}(0, \tilde{a}) = 2\ell(\tilde{a}) < 0$, и потому Γ_+ устойчива.

5. Типичные уравнения. Обозначим $\Sigma^0 A_{\omega}^{2,r}$ множество уравнений из $A_{\omega}^{2,r}$ ($r \geq 1$), имеющих в $S^1 \times \bar{\mathbf{R}}$ только грубые особые точки и грубые замкнутые траектории и не имеющих седловых связок. Уравнение $a \in A_{\omega}^{2,r}$ назовем *грубым* в $S^1 \times \bar{\mathbf{R}}$, если существует такая его окрестность U в $A_{\omega}^{2,r}$, что для любого уравнения $\tilde{a} \in U$ найдется гомеоморфизм $h : S^1 \times \bar{\mathbf{R}} \rightarrow S^1 \times \bar{\mathbf{R}}$ переводящий траектории уравнения \tilde{a} в траектории уравнения a с сохранением ориентации на них.

Теорема 3. Множество $\Sigma^0 A_{\omega}^{2,r}$ открыто и всюду плотно в $A_{\omega}^{2,r}$ ($r \geq 1$) и состоит из уравнений, грубых в $\mathbf{S}^1 \times \bar{\mathbf{R}}$.

Доказательство теоремы аналогично доказательству соответствующего утверждения для уравнений Льенара [3].

Список литературы

1. *Ройтенберг В.Ш.* Об уравнениях Льенара на окружности // Труды X международных Колмогоровских чтений: сб. статей. Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2012. С. 83-85.
2. *Ройтенберг В.Ш.* О предельных циклах уравнений Льенара с периодическими коэффициентами // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2013. Т. 1. С. 5-7.
3. *Ройтенберг В.Ш.* О типичных уравнениях Льенара // Ярославский педагогический вестник. 2013. Т. 3 (Естественные науки). № 1. С. 74-78.
4. *Плисс В.А.* О числе периодических решений уравнений с полиномиальной правой частью // ДАН СССР. 1959. Т.127, № 5. С. 965-968.
5. *Лefшец С.* Геометрическая теория дифференциальных уравнений. М.: ИЛ, 1961. 387 с.

01.01.00

М.Ю. Федотова

Уфимский филиал Финансового университета при Правительстве РФ,
кафедра математики и информатики,
Уфа, mar75852@gmail.com

О СХОДИМОСТИ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ НЕЙМАНА СО СМЕНОЙ ТИПА ГРАНИЧНОГО УСЛОВИЯ НА УЗКОЙ ПОЛОСКЕ

В работе рассматриваются вопросы сходимости решений сингулярно – возмущенной краевой задачи Неймана в ограниченной области со сменой граничного условия на узкой полосе.

Ключевые слова: оператор Лапласа; краевая задача; сингулярные возмущения.

Пусть $\Omega \subset \mathbf{R}^3$ – односвязная ограниченная область с бесконечно дифференцируемой границей Γ , а γ – замкнутая гладкая кривая без самопересечений, лежащая на Γ . Обозначим через s , где $0 \leq s \leq s_0$ – натуральный параметр этой кривой. Через каждую точку кривой γ , перпендикулярно к ней, проведем геодезическую кривую поверхности Γ . Пусть t – натуральный параметр этой кривой, где $t = 0$ соответствует точкам на кривой γ . Пусть $0 < \varepsilon \ll 1$, $\tilde{\gamma}_\varepsilon = \{x \in \Gamma: s \in \gamma, t \in (-\varepsilon; \varepsilon)\}$, γ_ε – произвольная открытая полоска, лежащая в $\tilde{\gamma}_\varepsilon$, $\Gamma_\varepsilon = \Gamma \setminus \overline{\gamma_\varepsilon}$, τ – внешняя нормаль к Ω .

В работе рассматриваются вопросы сходимости при $\varepsilon \rightarrow 0$ решений и собственных значений возмущенной краевой задачи

$$-\Delta u_\varepsilon = \lambda u_\varepsilon + f \text{ при } x \in \Omega, \quad u_\varepsilon = 0 \text{ при } x \in \gamma_\varepsilon, \quad \frac{\partial u_\varepsilon}{\partial \tau} = 0 \text{ при } x \in \Gamma_\varepsilon, \quad (1)$$

к решениям и собственным значениям краевой задачи Неймана

$$-\Delta u_0 = \lambda u_0 + f \text{ при } x \in \Omega, \quad \frac{\partial u_0}{\partial \tau} = 0 \text{ при } x \in \Gamma. \quad (2)$$

Будем называть задачу (1) возмущенной, а задачу (2) предельной. Заметим, что краевые задачи для лапласиана в $\mathbf{R}^3 \setminus \overline{\omega_\varepsilon}$ были рассмотрены в [1], вопросы сходимости решений задачи Дирихле со сменой типа граничного условия на узкой полоске были рассмотрены в [2]. В свою очередь сингулярно возмущенная задача Дирихле в бесконечном цилиндре была рассмотрена в [3].

Решения краевых задач (1) и (2) рассматриваются в смысле теории распределений [4]. Всюду далее, $L_2(G)$ и $W_2^1(G)$ – пространства Соболева с нормами $\|\bullet\|_{0,G}$ и $\|\bullet\|_{1,G}$ соответственно, (\bullet, \bullet) – скалярное произведение функций в $L_2(G)$, а $W_2^1(G; \delta)$ – замыкание в норме $W_2^1(G)$ функций из $C^\infty(\overline{G})$ равных нулю вблизи $\delta \subset \partial G$.

Пусть $f \in L_2(\Omega)$. Под решением сингулярно возмущенной краевой задачи (1) будем понимать элемент $u_\varepsilon \in W_2^1(\Omega; \gamma_\varepsilon)$, удовлетворяющий равенству

$$(\nabla u_\varepsilon, \nabla \eta) = \lambda(u_\varepsilon, \eta) + (f, \eta) \quad (3)$$

при любом $\eta \in W_2^1(\Omega; \gamma_\varepsilon)$.

Под решением краевой задачи (2) будем понимать элемент $u_0 \in W_2^1(\Omega)$, удовлетворяющий интегральному тождеству

$$(\nabla u_0, \nabla \eta) = \lambda(u_0, \eta) + (f, \eta) \quad (4)$$

при любом $\eta \in W_2^1(\Omega)$.

Основным содержанием работы является доказательство следующего утверждения.

Теорема 1. Если $f \in L_2(\Omega)$, K – произвольный компакт в комплексной плоскости \mathbb{C} , не содержащий собственных значений предельной задачи, то

а) существует число $\varepsilon_0 > 0$ такое, что краевая задача (1) однозначно разрешима в $W_2^1(\Omega)$ при любом $\varepsilon < \varepsilon_0$ и любом $\lambda \in K$ и для ее решения справедлива равномерная по λ и ε оценка

$$\|u_\varepsilon\|_{1,\Omega} \leq C \|f\|_{0,\Omega} \quad (5)$$

б) при $\varepsilon \rightarrow 0$

$$\|u_\varepsilon - u_0\|_{1,\Omega} \rightarrow 0 \quad (6)$$

равномерно по λ .

Для доказательства теоремы 1 докажем предварительно вспомогательные утверждения. Введем следующие обозначения. Пусть $X = (X_1, X_2, X_3)$. Обозначим (R, Φ, X_3) – цилиндрические координаты X , S – единичная окружность в плоскости $X_3 = 0$ с центром в начале координат, $y_1 = R - 1$, $y_2 = X_3$. Пусть далее $B(\Phi)$ – точка с координатами $(1, \Phi, 0)$. В каждой полуплоскости Π_Φ , проходящей через ось OX_3 и точку B , введем декартовы координаты $y = (y_1, y_2)$ с центром в точке B . Обозначим через (r, φ) – полярные координаты, соответствующие декартовым координатам $y = (y_1, y_2)$. Пусть $S_\mu(\Phi)$ – круг радиуса μ с центром в точке $B(\Phi)$ на плоскости Π_Φ , а $S_\mu^2 = \{x \in \mathbb{R}^3 : B \in S, y \in S_\mu\}$,

$$k_\mu(t) = \begin{cases} 1 - \frac{\ln t}{\ln \mu}, & t \geq \mu, \\ 0, & t < \mu. \end{cases}$$

Обозначим $K_\mu(X) = k_\mu(r)$ при любом Φ .

Лемма 1. K_μ сходится к 1 в норме $W_2^1(\Theta)$ при $\mu \rightarrow 0$.

Доказательство. Из определения $K_\mu(X)$ следует, что

$$\int_\Theta [1 - K_\mu(X)]^2 dX = \int_{\Theta \setminus S_\mu^2} \left(\frac{\ln r}{\ln \mu}\right)^2 dX + \int_{\Theta \cap S_\mu^2} dX.$$

Из последнего равенства, с учетом справедливости следующих оценок

$$\int_{\Theta \setminus S_\mu^2} \left(\frac{\ln r}{\ln \mu}\right)^2 dX \leq \frac{1}{\ln^2 \mu} \int_\Theta \ln^2 r dX = \frac{C_1}{\ln^2 \mu}, \quad \int_{\Theta \cap S_\mu^2} dX = O(\mu^2),$$

имеем

$$\int_\Theta [1 - K_\mu(X)]^2 dX \rightarrow 0 \text{ при } \mu \rightarrow 0. \quad (7)$$

Далее, имеем

$$\int_\Theta [\nabla(1 - K_\mu(X))]^2 dX = \frac{1}{\ln^2 \mu} \int_{\Theta \setminus S_\mu^2} [\nabla(\ln r)]^2 dX. \quad (8)$$

Переходя в правой части (8) к переменным (r, φ, Φ) , можно показать справедливость следующего соотношения:

$$\int_{\Theta \setminus S_\mu^2} [\nabla(\ln r)]^2 dX = C + 2\pi^2(\ln T - \ln \mu).$$

Из (8) с учетом последнего равенства, имеем

$$\int_\Theta [\nabla(1 - K_\mu(X))]^2 dX = \frac{1}{\ln^2 \mu} (C + 2\pi^2(\ln T - \ln \mu)) = O\left(\frac{1}{\ln \mu}\right). \quad (3)$$

Из формул (7) и (8) следует, что K_μ сходится к 1 при $\mu \rightarrow 0$ в норме $W_2^1(\Theta)$.

Лемма 2. Пусть $V \in C^\infty(\bar{\Theta})$, $V_\mu = K_\mu V$. Тогда $V_\mu \in W_2^1(\Theta)$ сходится к V в норме $W_2^1(\Theta)$, $V_\mu = 0$ в $\Theta \cap S_\mu^2$.

Доказательство. Непосредственно из определения V_μ следует, что равна нулю в $\Theta \cap S_\mu^2$, $V_\mu \in W_2^1(\Theta)$. Докажем теперь сходимость V_μ к V в норме $W_2^1(\Theta)$. Не ограничивая общности будем считать, что V – вещественная функция. Тогда

$$\begin{aligned} \|V - V_\mu\|_{0,\Theta} &= \|V(1 - K_\mu)\|_{0,\Theta} \leq C \|1 - K_\mu\|_{0,\Theta}, \\ \|\nabla(V - V_\mu)\|_{0,\Theta}^2 &= \|\nabla(1 - K_\mu)V\|_{0,\Theta}^2 + \|(\nabla V)(1 - K_\mu)\|_{0,\Theta}^2 + \\ &\quad 2\left((1 - K_\mu)\nabla(1 - K_\mu), V\nabla(V)\right) \\ &\leq C_1 \|\nabla(1 - K_\mu)\|_{0,\Theta}^2 + C_2 \|(1 - K_\mu)\|_{0,\Theta}^2 + \\ &\quad C_3 \|1 - K_\mu\|_{0,\Theta} \|\nabla(1 - K_\mu)\|_{0,\Theta}. \end{aligned}$$

Из этих оценок и леммы 1 следует справедливость последнего утверждения доказываемой леммы.

Лемма 3. Для любой функции $v \in C^\infty(\bar{\Omega})$ существуют функции $v_\varepsilon \in W_2^1(\Omega; \gamma_\varepsilon)$ такие, что $\|v_\varepsilon - v\|_{1,\Omega} \rightarrow 0$ при $\varepsilon \rightarrow 0$.

Доказательство. Так как граница области Ω бесконечно дифференцируема, то существует диффеоморфное отображение $P: \Omega \rightarrow \Theta$ такое, что кривая γ перейдет в S . Обозначим через $\gamma(\varepsilon)$ образ γ_ε при отображении P . Очевидно, что существует $\mu(\varepsilon) \rightarrow 0$ при $\varepsilon \rightarrow 0$ такое, что $\gamma(\varepsilon) \subset \partial\Theta \cap S_\mu^2$. Обозначим $V(X) = v(x(X))$, $V_\mu(X) = K_\mu(X)V(X)$, а через $v_\varepsilon(x)$ – прообраз функции $V_{\mu(\varepsilon)}(X)$ при отображении P . Так как $V_\mu(X)$, $V(X)$ удовлетворяют условиям леммы 2, то в силу ее утверждения и определения P , получаем справедливость доказываемой леммы.

Доказательство теоремы 1. Для доказательства однозначной разрешимости возмущенной задачи достаточно показать справедливость оценки (5). Подставляя в (3) $\eta = u_\varepsilon$, получаем равномерную оценку

$$\|u_\varepsilon\|_{1,\Omega} \leq C_1 (\|f\|_{0,\Omega} + \|u_\varepsilon\|_{0,\Omega}), \tag{8}$$

причем C_1 не зависит от λ и ε .

Доказательство оценки (5) осуществляется методом от противного с использованием неравенства (8), утверждений леммы 3 и того, что ограниченное множество в $W_2^1(\Omega)$ слабо компактно, а $W_2^1(\Omega)$ компактно вкладывается в $L_2(\Omega)$.

Для доказательства справедливости соотношения (6) также используется метод от противного. Из (5), слабой компактности ограниченного множества в $W_2^1(\Omega)$, компактности вложения $W_2^1(\Omega)$ в $L_2(\Omega)$ показывается справедливость сходимости (6). Теорема 1 доказана.

Заметим, что вопросы сходимости собственных значений сингулярно – возмущенной краевой задачи Дирихле были рассмотрены в [5].

Список литературы

1. Назаров С.А., Паукито М.В. Дискретные модели и осреднение в задачах теории упругости. Л.: Ленинградский университет, 1984.
2. Федотова М.Ю. О сходимости решений задачи Дирихле со сменой типа граничного условия на узкой полоске // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 5. С.74-76.
3. Планида М.Ю. О сингулярном возмущении задачи Дирихле в бесконечном цилиндре // Доклады Академии Наук. 2005. Т.402. № 2. С.177-180.
4. Ладыженская О.А. Краевые задачи математической физики. М.: Наука, 1973.
5. Федотова М.Ю. О сходимости собственных значений сингулярно возмущенной задачи Дирихле // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 5. С.61-63.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ (02.00.00)

02.00.04

А.Х. Тазмеев к.х.н., Р.Н. Тазмеева к.т.н.

Набережночелнинский институт (филиал)
Казанского (Приволжского) федерального университета,
Набережные Челны, tazmeev@gmail.com, tazmееva@mail.ru.

**ОБ УЧАСТИИ ВОДЯНОГО ПАРА В ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ
ПОЛИМЕРОВ В СИНТЕЗ-ГАЗ**

Экспериментально исследован процесс конверсии отходов полимеров в потоке пароводяной плазмы, создаваемом жидкоэлектродными генераторами плазмы. Выполнен расчет материального баланса. Выявлены закономерности участия водорода и кислорода, содержащихся в пароводяной плазме, в образовании химических соединений в виде конечных продуктов.

Ключевые слова: *газовый разряд, пароводяная плазма, синтез-газ.*

Введение.

Известно, что пароводяная плазма является самым привлекательным вариантом энергоносителя в плазмохимических процессах, в том числе в процессах плазменной переработки отходов [1,2]. Ее применение обеспечивает целый ряд преимуществ. Пароводяная плазма не содержит балластные компоненты (например, такие как азот в составе воздушной плазмы). Поэтому тепловая эффективность энергоносителя становится в значительной степени выше. В пароводяной плазме подавляются механизмы образования вредных окислов, таких как окислы азота и серы. Этим обеспечиваются самые благоприятные экологические условия.

В настоящее время в процессах переработки отходов используется в основном электродуговая плазма [3]. Энергоноситель-плазма создается продувкой через дуговой разряд различных газов, в том числе и водяного пара. Однако, на практике, при использовании водяного пара в электродуговых плазмотронах, возникают дополнительные технические трудности. В реальных промышленных установках в первую очередь необходим эффективный парогенератор для получения перегретого пара. Необходима защита тугоплавких электродов от прямого воздействия водяного пара. А также нужно принимать меры для предотвращения конденсации влаги на поверхностях токопроводящих элементов.

Использование жидкоэлектродных генераторов плазмы на базе газового разряда с жидким электролитным катодом позволяет избавиться от вышеперечисленных негативных моментов. При этом поток плазмы создается из паров электролита. Испарение электролита происходит под действием тепла, идущего от газового разряда. Определение степени участия электролита в образовании конечного продукта – синтез-газа является целью данной работы.

Эксперимент.

В данной работе был использован жидкокатодный генератор плазмы, позволяющий создать плазменный поток из паров электролита с температурой до 1800°C и массовым расходом до 3.0 г/с [4,5]. Исходным сырьем служили бывшие в употреблении куски полиэтиленовой пленки (ПЭ-сырье) и бутылки из полиэтилентерефталата (ПЭТ-сырье). Переработка сырья происходила в последовательности: 1) термическое разложение в среде водяного пара при температуре 770-800 К; 2) конверсия в синтез-газ в плазмохимическом реакторе в диапазоне температур 1670-1720 К. Некоторые результаты экспериментальных исследований опубликованы в работах [6-10].

Упрощающие предположения и исходные данные.

В расчетах рассмотрен баланс по основным химическим элементам, из которых состоят реагенты. Таковыми являются: углерод С, водород Н и кислород О. Материальный баланс подразумевает равенство масс отдельных химических элементов в первичных компонентах (полимерное сырье и вода) и в конечных продуктах во всех агрегатных фазах: твердых, жидких и газообразных.

Ввиду ограниченности параметров, доступных прямому измерению, при расчете материального баланса приняты следующие упрощения.

1. Термическое разложение сырья происходит равномерно, и исходные реагенты поступают в плазмохимический реактор с массовой скоростью $\dot{m} = k \cdot m / \Delta t$. Здесь k – коэффициент, учитывающий образование твердого остатка; m – масса сырья; Δt – промежуток времени, в течение которого происходит интенсивное термическое разложение сырья на летучие компоненты.

2. Массовые скорости поступления химических элементов С, Н и О в плазмохимический реактор постоянны и их отношения между собой равны отношениям атомных масс в условной формуле сырья. Для ПЭ-сырья (условная формула C_2H_4): $\dot{m}_C : \dot{m}_H = 24 : 4$.

Полиэтилентерефталат не полностью разлагается на летучие компоненты. В опытах образовался твердый остаток, масса которого составляла в среднем 10% от первоначальной массы сырья. С учетом этого условная формула записывается в виде $C_{8.4}H_8O_4$. Таким образом, для ПЭТ-сырья: $\dot{m}_C : \dot{m}_H : \dot{m}_O = 100.8 : 8 : 64$.

3. Массовые скорости \dot{m}_C , \dot{m}_H и \dot{m}_O составляют доли, пропорциональные атомным массам соответствующих химических элементов. Для полиэтилена: $\dot{m}_C = (24/28) \cdot \dot{m}$ и $\dot{m}_H = (4/28) \cdot \dot{m}$. Для полиэтилентерефталата: $\dot{m}_C = (100.8/172.8) \cdot \dot{m}$, и $\dot{m}_H = (8/172.8) \cdot \dot{m}$ и $\dot{m}_O = (64/172.8) \cdot \dot{m}$.

4. Составы газовой фазы конечных продуктов и жидкого конденсата неизменны в течение всей продолжительности процесса. Эти составы такие, какие получены в результате анализов газовых и жидких проб.

5. Массовые и объемные скорости образования индивидуальных веществ в конечных продуктах постоянны, соответственно, постоянны массовые скорости появления химических элементов С, Н и О в газовой фазе (\dot{m}_{gC} , \dot{m}_{gH} и \dot{m}_{gO}).

Расчет материального баланса.

Ниже рассмотрены расчеты на примере двух экспериментов, характерных для сырья-ПЭ и сырья-ПЭТ. В таблицах 1 – 3 представлены результаты химических анализов конечных продуктов, а также расчетные значения массовых скоростей \dot{m}_{gC} , \dot{m}_{gH} и \dot{m}_{gO} .

Таблица 1 – Фазовый состав конечных продуктов.

Сырье	Твердая фаза	Жидкая фаза	Газ
Сырье-ПЭ	0 %	0,6 %	99,4 %
Сырье ПЭТ	10 %	2,8 %	87,2 %

Таблица 2 – Газообразные конечные продукты процесса конверсии сырья-ПЭ.

Компонент	Объемное содержание, об. %	\dot{m}_g , г/мин	\dot{m}_{gC} , г/мин	\dot{m}_{gH} , г/мин	\dot{m}_{gO} , г/мин
H_2	66.3	0.3966	—	0.3966	—
CO	9.6	0.8040	0.3446	—	0.4594
CO_2	12.0	1.5793	0.4307	—	1.1486
CH_4	7.8	0.3733	0.2800	0.0933	—
C_2H_2	2.3	0.1789	0.1651	0.0138	—
C_2H_4	0.30	0.0251	0.0215	0.0036	—
C_6H_6	0.021	0.0049	0.0045	0.0004	—
Суммарно	98.321*	3.3621	1.2464	0.5077	1.6080

*Пробы на анализ содержат примеси.

Таблица 3 – Газообразные конечные продукты процесса конверсии сырья-ПЭТ.

Компонент	Объемное содержание, об.%	\dot{m}_g , г/мин	\dot{m}_{gC} , г/мин	\dot{m}_{gH} , г/мин	\dot{m}_{gO} , г/мин
H_2	51.1	0.2601	—	0.2601	—
CO	14.7	0.5990	0.2570	—	0.3420
CO_2	25.4	2.8430	0.7750	—	2.0680
CH_4	4.8	0.1948	0.1460	0.0488	—
C_2H_2	0.340	0.0225	0.0208	0.0017	—
C_2H_4	0.019	0.0013	0.0011	0.0002	—
C_6H_6	0.210	0.0417	0.0385	0.0032	—
Суммарно	96.569*	3.9624	1.2384	0.3140	2.4100

*Пробы на анализ содержат примеси.

Из таблицы 1 следует, что конечные продукты в плазмохимическом процессе в основном образуются в газовой фазе. В значительных объемах образуются водород, оксиды углерода и метан (таблицы 3 и 4). В небольших объемах присутствуют ацетилен, этилен и бензол. При этом в суммарной массе газообразных конечных продуктов содержание тяжелых химических элементов О и С больше, чем легкого Н. Однако для сравнительного анализа более информативной является не масса, а количество атомов, т.е. мольное содержание. Такие данные, полученные путем перерасчета, приведены на рисунке в виде диаграмм.

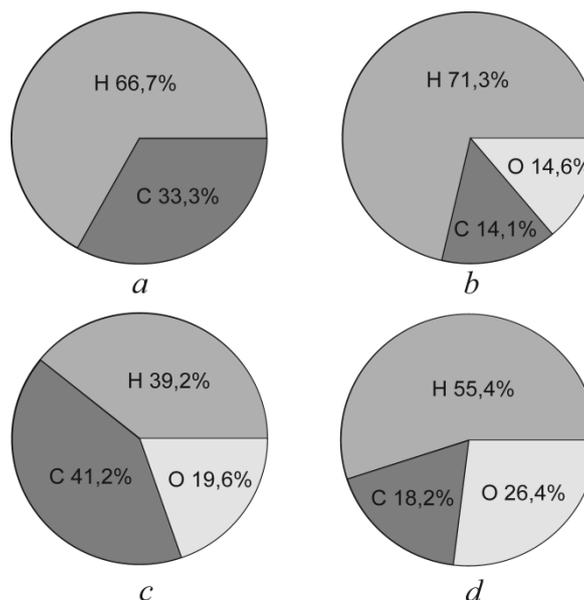


Рис. 1 – Мольный состав сырья на входе в плазмохимический реактор (a, c) и мольное содержание химических элементов в газообразных конечных продуктах (b, d). Сырье-ПЭ – a и b; сырье-ПЭТ – c и d.

Как видно, из представленных диаграмм, сырье-ПЭ не содержит атомов О, а в конечных продуктах они появляются. При этом наблюдается существенное прибавление атомов Н. Подобные закономерности присутствуют и в случае сырья-ПЭТ. В обоих случаях атомы Н и О переносятся от водяного пара.

Выводы.

К водороду, поступающему в реакционную зону плазмохимического реактора из состава сырья, добавляется значительное количество водорода от водяного пара. Поэтому в составе получаемого синтез-газа объемное содержание водорода наибольшее среди всех компонентов.

Список литературы

1. Альтовский Г.С., Бернадинер М.Н., Иванов В.В. // Экология и промышленность России. - 2011. - № 2. - С. 8-11.
2. Гудим Ю.А., Голубев А.А. // Экология и промышленность России. - 2009. - № 2. - С. 4-7.
3. Артемов А.В., Переславцев А.В., Крутяков Ю.А. и др. // Экология и промышленность России. - 2011. - № 10. - С. 18-23.
4. Плазмотрон с жидким электролитным катодом: пат. №2286033. Рос. Федерация. № 2005115270/06; Заявлено 19.05.2005, опубл. 20.10.2006. Бюл. № 29. – 3 с.
5. Gibadullina G.R., Tazmееv A.H., Tazmееva R.N. // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 24. С. 45015-45021.
6. Тазмеев А.Х., Тазмеева Р.Н. // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 5. С. 55-57.
7. Tazmееv K.K., Arslanov I.M., Tazmееv G.K. // Journal of Physics: Conference Series. 2014. Т. 567. № 1. С. 012001.
8. Тазмеев Х.К., Арсланов И.М., Тазмеев Г.Х. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2014. Т. 57. № 3-2. С. 227-230.
9. Тазмеев Б.Х., Смирнова Т.А. // Вестник торгово-технологического института. 2014. № 8 (1). С. 55-58.
10. Тазмеева Р.Н., Тазмеев Б.Х. // Прикладная физика. 2014. № 1. С. 35-37.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (05.02.00)

05.02.13

М.Н. Баранов¹, Т.Н. Иванова², Р.Г. Латыпов¹¹ФБГОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск²Институт механики УрО РИА, Чайковский филиал

ФБГОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Чайковский

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГЛУБИННЫХ НАСОСОВ

Подъем на земную поверхность жидкости с больших глубин влияет на эффективность работы глубинных насосов. Поэтому для повышения их надежности необходимо осуществлять контроль работы оборудования в скважине, который приводит к снижению износа оборудования, уменьшению количества простоев и в целом повышению работоспособности насосов. В работе проведен анализ совместной работы электроцентробежных и штанговых насосов, выявлены 4 группы факторов, отрицательно влияющих на их работу. Даны рекомендации по снижению причин отказов и мероприятия по увеличению средней наработки на отказ и межремонтного периода.

Ключевые слова: *электроцентробежный насос, штанговый глубинный насос, механические примеси, причины отказов, средняя наработка на отказ, межремонтный период.*

На месторождениях Удмуртии применяются глубинные насосы электроцентробежный насос ЭЦН и штанговый глубинный насос ШГН [1-3]. Анализируя совместную работу данного оборудования на одном из месторождений Удмуртии, были выявлены причины их отказности (рис. 1, 2). Анализируя причины отказов глубинных насосов, были сформулированы 4 группы факторов, отрицательно влияющих на их работоспособность:

1. Геологические факторы - наличие в продукции свободного газа, механических примесей, обводненности продукции и влияние свойств нефти.

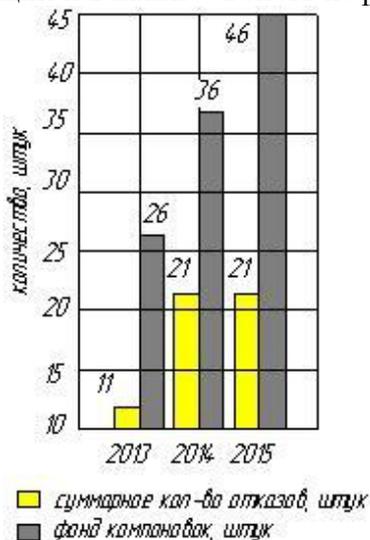


Рис. 1. Суммарное количество отказов ЭЦН-ШГН

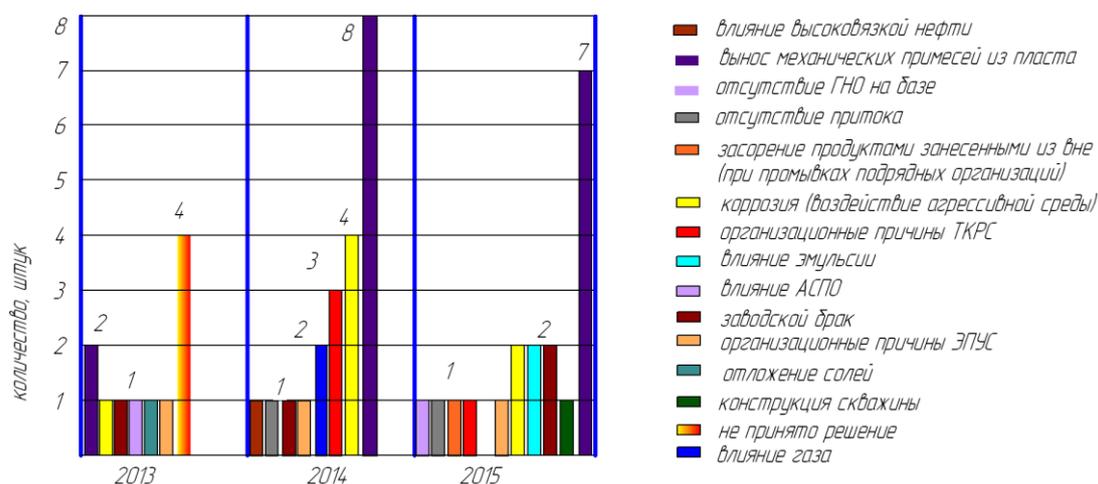


Рис. 2. Распределение отказов по причинам ЭЦН-ШГН

2. Технологические факторы, влияющие на режим эксплуатации: глубина спуска насоса, погружение под динамический уровень.

3. Технические – поверхность забоя, через которую происходит фильтрация (интервал вскрытия пласта, открыты или закупорены перфорационные каналы и т.д.); вибрации.

4. Конструктивные особенности оборудования.

В процессе совместной работы ЭЦН - ШГН было установлено, что все группы факторов могут действовать на аварийные отказы оборудования как одновременно, так и по отдельности.

В основном, к отказам ЭЦН - ШГН на месторождениях относятся отказы по причине выхода из строя насоса и кабеля вследствие засорения рабочих органов, и забивания фильтров механическими примесями (до 20%). Это явление чаще встречается на скважинах, расположенных в зонах низкого давления. Кроме занесенного мусора с поверхности земли (щепки, краска, полиэтилен, резина, пластмасса) наблюдается интенсивный вынос песка и горных пород во время эксплуатации, это и приводит к забиванию песком глубинных насосов и их быстрому износу (эрозии) клапанов, засорения первых колес и других частей. Замечено [1], что частицы механических примесей в диаметре более 3 мм и длиной свыше 20 мм перекрывают приемную сетку ЭЦН и вызывают вибрацию насоса, снижая его подачу. Отказ ШГН в результате засорения рабочих органов происходит при попадании под клапан посторонних предметов или негерметичного закрытия клапана, забивания внутреннего сечения плунжера, зазора между плунжером и цилиндром или фильтра. Кроме того, песок вызывает катастрофический износ резьбовых соединений насосных труб. Он быстро разъедает резьбу и через образовавшийся канал либо протекает жидкость, либо снижается или полностью прекращается ее подача. Технические или технологические остановки скважин способствуют осаждению песка на забое и образованию пробок. При осаждении песка в насосно-компрессорных трубах НКТ остановка ЭЦН вызывает его заклинивание. Длительные остановки насоса сопровождаются образованием над насосом большого столба твердых осадкообразующих включений, возникает большая сила трения их о стенки труб и поверхность штанг, приводящие к заклиниванию плунжера в цилиндре насоса, штанг в трубах и остановке колонны штанг.

Методы борьбы с механическими примесями – это недопущение попадания посторонних предметов и грязи в скважину путем выполнения организационно-технических мероприятий: обеспечение высокой культуры производства; установки скважинных и механических фильтров с оптимальной конструкцией; визуальный осмотр поверхностей труб, штанг. Методы снижения негативного влияния механических примесей на работу глубинных насосов наиболее эффективны: при предотвращении попадания механических примесей на забой скважины; защите приема насоса от механических примесей; использовании износостойкого оборудования. Данные меры позволяют поддерживать значение наработки на отказ на скважинах до 285 суток.

Существенное влияние на надежность ЭЦН оказывает температурный режим погружного электродвигателя ПЭД и кабельной линии. Снижение влияния данного фактора решается путем применения кабельных удлинителей в термостойком исполнении (до 230 °С) и термостойких вставок.

При снижении температуры пласта вязкость нефти повышается, что ведет к ухудшению продуктивности скважины, которая вызывает осложнения в работе глубинных насосов, заключающиеся в обеспечении движения штанговой колонны вниз и снижении надежности работы штанговой колонны из-за увеличения нагрузок в точке подвеса штанг.

Помимо температурного фактора немаловажную роль играет газовый фактор. Газ, попадающий в полость насоса, оказывает отрицательное влияние на эффективность работы глубинных насосов, снижая подачу жидкости, но проходя через насос газ в составе смеси, оказываясь над насосом, совершает работу по подъему жидкости. Положительная работа данного эффекта тем больше, чем большее количество газа способен перекачивать насос. Для стабилизации работы ЭЦН при высоких значениях газового фактора применяют газосепараторы, диспергаторы, рабочие колеса с импеллерами или ступенчатую компоновку насоса.

По мере увеличения обводнённости скважинной продукции возникают отказы, связанные с отложением солей на рабочих органах и корпусах оборудования, которые приводят к засорению проточной части ЭЦН, перегреву ПЭД за счет снижения отвода образующегося тепла во внешнюю среду. Из-за неравномерного отложения солей на рабочих органах и пульсации давления изношенного ЭЦН возникают вибрации и дисбаланс, которые способствуют нарушению надёжности конструкции насоса. Вибрация электроцентробежного насоса снижается при исключении солеотложения на его рабочих органах. Для борьбы с отложениями солей на рабочих органах ЭЦН применяется периодическая или постоянная подача ингибиторов солеотложения. Данные меры позволяют поддерживать значение наработки на отказ на скважинах, осложнённых солеотложением, на 25 – 30% по сравнению с необрабатываемыми скважинами.

Таким образом, в результате анализа причин отказов ЭЦН - ШГН на месторождениях Удмуртии можно дать следующие рекомендации по их снижению (табл. 1).

Таблица 1 - Рекомендации по снижению причин отказов ЭЦН – ШГН

Причина	Рекомендации по снижению причин отказов насосов
Вынос механических примесей	– Повысить качество освоения при геолого-технологических мероприятий – Применение ЭЦН, допускающего повышенное содержание механических примесей – Обязательное применение шламоуловителей
Коррозия	– Применение оборудования в коррозионностойком исполнении – Применение устройств защиты от коррозии
Вязкость	– Рассмотреть возможность применения конструкции насоса ЭЦН с полимерными колесами

С целью повышения эффективности эксплуатации глубинных насосов и для предупреждения негативного влияния неорганических отложений в скважины были спущены установки, укомплектованные рабочими колёсами из полимерных композиционных материалов в начальных 2 - 8 ступенях ЭЦН (табл. 2).

После внедрения рабочих колёс из полимерных композиционных материалов из УП и исключения образования неорганических отложений межремонтный период МРП увеличился на 42 – 45%.

При разборах ЭЦН – ШГН было установлено, что качество отдельных узлов отечественных установок не соответствует существующим условиям эксплуатации месторождений с высоковязкими нефтями и с отложением солей. Поэтому предлагаем отдельные детали глубинных насосов сделать в износо- и коррозионно-стойком исполнении.

Опыт эксплуатации таких деталей показывает [2, 3], что увеличилась наработка на отказ, расширились технические условия эксплуатации и был получен положительный экономический эффект.

Таблица 2 – Результаты внедрения ЭЦН с рабочими колёсами из полимерных композиционных материалов

Тип ЭЦН	Кол-во ступеней Всего /в т.ч. из ПКМ	До ремонта	После ремонта
		МРП, сут	МРП, сут
20-900	254/254	235	586
80-1000	228 / 114	228	570
250-800	186 /186	318	650
60-900	192/192	190	458

Внедрение технических и технологических разработок по повышению устойчивости работы глубинных насосов при эксплуатации позволяет увеличить межремонтный период до 520 суток и среднюю наработку на отказ до 285 суток.

Список литературы

1. *Насыров А.М., Насыров В.А.* Совершенствование эксплуатации скважин, оборудованных УЭНЦ, в осложненных условиях. Ижевск: РА «Парацельс», 2011. – 240с.
2. *Иванова Т.Н., Емельянов Е.О., Новохионов Д.Н., Вдовина Е.Ю.* Исследование работоспособности насоса и выявление причин выхода его из строя. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2016. - № 5/2016. – С. 33 - 34.
3. *Захаров Б.С.* Специальные типы штанговых насосов. М.: ОАО ВНИИОЭНГ, 2008. – 120с.

05.02.08

**П.А. Катасонов, Ю.И. Шакиров, И.М. Нуриев,
Р.И. Валиев, А.А. Хафизов, Д.С. Мартемьянов**

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, факультет энергетики и информатизации, кафедра электроэнергетики и электротехники, г. Набережные Челны, comrade.hammond@gmail.com

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НЕРАСХОДУЕМЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ИЗ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО МАГНЕТИТА

Нерасходуемые электроды изготовлены методом плазменного напыления магнетита на титан Порошок для нанесения покрытий получен плазменно-электролитическим диспергированием углеродистых сталей. Определены зависимости пористости, адгезии, удельного электрического сопротивления и скорости анодного растворения электродов от гранулометрического и химического состава порошка.

Ключевые слова: *магнетит; плазменное напыление; адгезия; титан.*

Введение

Относительно высокая электропроводность и стойкость магнетита при анодной поляризации позволяет использовать его для изготовления нерасходуемых электродов, применяемых в разнообразных электрохимических процессах. Цельные магнетитовые аноды применяются наиболее широко, но они обладают рядом существенных недостатков, в том числе высокой хрупкостью и повышенным сопротивлением. Аноды, полученные газотермическим напылением магнетита на титан, ниобий, цирконий, тантал или нержавеющей сталь, лишены этих недостатков, поэтому являются хорошей альтернативой для них [1].

Необходимость обеспечения высоких эксплуатационных характеристик газотермических покрытий магнетитовых анодов обуславливает повышенные требования к свойствам и составу напыляемых порошков [2, 3]. Одним из методов получения порошка магнетита, удовлетворяющего данным требованиям, является плазменно-электролитическое диспергирование углеродистых сталей [4]. Этот метод позволяет получать дисперсные оксиды железа с частицами сферической формы размером 8 – 315 мкм, низким содержанием примесей, а также характеризуется простотой реализации и управления. В связи с вышеизложенным решение проблемы определения основных характеристик нерасходуемых анодов с газотермическим покрытием из магнетита, полученного методом плазменно-электролитического диспергирования углеродистых сталей, является актуальной задачей.

Методика проведения эксперимента

Порошок магнетита был получен на плазмотермической установке с электролитическим катодом и металлическим анодом [5]. Диспергируемый анод изготовлен из прутка стали А20 диаметром 10 мм. В качестве электролита использовался 0.01% раствор $NaCl$ в дистиллированной воде. Между электродами поддерживались расстояние 1 мм и напряжение 600 В при токе 1,9 А. Полученный порошок промывался, просушивался до постоянства массы при 90 °С. Различные размерные фракции отделялись методом ситового отсева на анализаторе А-30 с набором сит нормальной точности с ячейкой 40 – 160 мкм.

Получаемый порошок представляет собой механическую смесь двух фракций – магнитной Fe_3O_4 и немагнитной FeO , которые легко разделяются. Это позволило приготовить порошки с варьируемым в диапазоне 0.43 – 0.52 соотношением $Fe(II):Fe(III)$.

Образцы для исследования были получены напылением подготовленного порошка на подложку из титана марки ВТ1-0 на установке УПУ-3 с аргоном в качестве плазмообразующего газа. Расход газа составил 20 – 30 л/мин при мощности дуги 18 – 30 кВт. Дистанция напыления составила 100 – 130 мм, толщина покрытий – 300 мкм.

Для определения микроструктуры образцы изучались на металлографическом микроскопе Микромед Мет. Микротвердость определялась на приборе ПМТ-3М с индентором Виккерса под нагрузкой 0.49 Н. Адгезия измерялась методом прямого отрыва на приборе Elcometer 108. Исследование скорости анодного растворения проведено в 5% растворе $NaCl$ в дистиллированной воде при плотности анодного тока 5 A/дм^2 .

Результаты и обсуждение

Физико-механические свойства исследованных образцов, приведены в таблице 1, а микрофотографии их поперечного сечения – на рисунке 1. Размер частиц оказывает существенное влияние на структуру покрытий. Крупные частицы (более 120 мкм) образуют покрытия с высокой пористостью, неоднородной структурой и низкой адгезией к материалу подложки. Из-за недостаточного прогрева частиц коэффициент использования материала не превышает 50%.

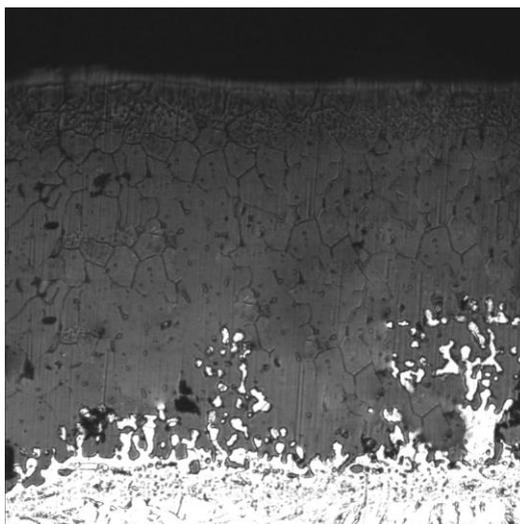


Рисунок 1 – Микрофотография покрытия из магнетита, увеличение 200^{\times}

Таблица 1. Физико-механические свойства покрытий

Размерная фракция, мкм	Твердость, HV 0.05	Адгезия, МПа	Пористость, %
40 - 50	537	11.4	5 - 8
50 - 71	491	16.3	6 - 10
71 - 90	471	17.2	7 - 10
90 - 120	468	15.9	8 - 12
120 - 160	453	9.82	12 - 18

Тонкая фракция 40 – 50 мкм при напылении образует плотные покрытия с высоким коэффициентом использования материала и хорошей адгезией, однако ее частичное окисление приводит к росту структурных напряжений и появлению дефектов в виде трещин.

Лучшие покрытия получаются при напылении размерной фракции 50 – 120 мкм. Полученные значения адгезионной прочности соответствуют оксидным покрытиям без предварительно нанесенного подслоя [6].

Характеристики покрытий из фракции порошков размером 72 – 90 мкм при варьировании их состава приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики покрытий при варьировании состава порошков размерной фракции 72 – 90 мкм.

$Fe(II):Fe(III)$	Твердость, HV 0.05	Адгезия, МПа	Пористость, %
0.43	485	12.6	9
0.45	471	13.8	8
0.47	463	14.2	6
0.49	450	14.7	6
0.51	446	15.0	5

При уменьшении отношения $Fe(II):Fe(III)$ происходит повышение пористости и снижение адгезии покрытий.

Наиболее важными характеристиками нерасходуемых анодов являются удельное электрическое сопротивление $\rho_{уд}$ и скорость анодного растворения ΔM_A . На рисунке 2, а показана зависимость логарифма удельного сопротивления покрытия, а на рисунке 2, б представлена зависимость скорости растворения от соотношения $Fe(II):Fe(III)$.

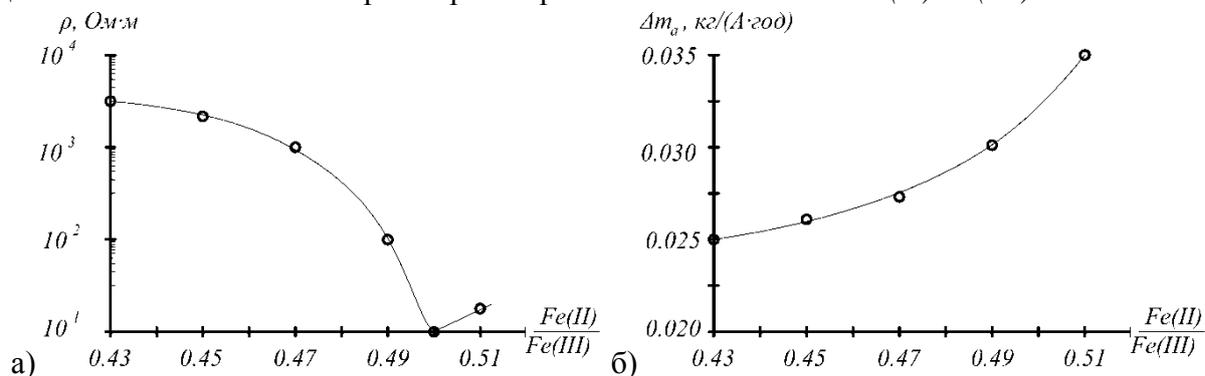


Рисунок 2 – Зависимости удельного электрического сопротивления (а) и скорости анодного растворения (б) от величины $Fe(II):Fe(III)$.

Анодная стойкость изготовленных образцов соответствует стойкости цельнолитых магнетитовых электродов [7]. Стойкость растет при снижении доли катионов Fe^{2+} , однако сопровождается значительным ростом удельного сопротивления и омических потерь в покрытии.

Заключение

В исследовании показано, что аноды с газотермическим покрытием из порошка магнетита, полученного плазменно-электролитическим диспергированием углеродистых сталей, не уступают по анодной стойкости цельнолитым, а по ряду других параметров превосходят их. Для получения наиболее качественных покрытий необходимо использовать порошок с частицами размером 50 – 120 мкм и соотношением $Fe(II):Fe(III)$ в диапазоне 0.495 – 0.510.

Список литературы

1. Hayes M., Kuhn A.T. The preparation and behaviour of magnetite anodes // Journal of Applied Electrochemistry. – 1978. – Vol. 8, № 4. – P. 327 – 332.
2. Hideo I., Setsuo Y., Sakae I. Process for producing magnetite-coated electrode // US patent № 5143746. – 1992.
3. Сигаев Н.П., Захаров В.Ф., Травин А.Л., Хоршико Б.А., Румянцев Е.М. Исследование причин разрушения составных анодов с рабочим слоем из оксидов железа. 1. Электроды с подложкой из стали Ст 3. // Известия ВУЗ «Химия и химическая технология». - 2003. - Т.46. - вып.7, С.27-31.
4. Валиев Р.А., Гайсин Ф.М., Романов Е.С., Шакиров Ю.И. Синтезирование порошка оксидов железа в разряде с жидким электродом // Физика и химия обработки материалов. – 1991. – № 6. – С. 90 – 95.
5. Шакиров Ю.И., Валиев Р.И. Шакирова Г.Ю. Многоканальная плазменная установка с электролитическим катодом // Научно-технический журнал «Автомобильная промышленность». – 2011. – №2. – С.36 – 38.
6. Борисов Ю.С., Харламов Ю.А., Сидоренко С.Л., Ардатовская Е. Н. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник. – Киев: Наукова думка, 1987. – 544 с.
7. Wakabayashi S., Aoki T. Characteristics of ferrite electrodes // Journal de physique. Colloque C1, supplement au. – 1977. – Т. 38, № 4. – P. 241–244.

05.02.02

Р.А. Кобзев¹, И.О. Кудашева¹, Д.С. Мамаев²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Балаковский инженерно-технологический институт,
кафедра «Машиноведение», Балаково, cobzev.roman@yandex.ru

²Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии
А.В. Хрулёва, Вольский военный институт материального обеспечения, Вольск

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ КРАНА КОЗЛОВОГО СПЕЦИАЛЬНОГО К100У

В работе поставлена и решена задача оптимального проектирования механизма передвижения специального козлового крана по критериям массы, себестоимости и суммарных затрат.

Ключевые слова: *оптимальное проектирование, металлоемкость, энерговооруженность, себестоимость, эксплуатационные затраты.*

В число критических технологий Российской Федерации, утвержденных Указом Президента РФ № 899 от 7 июля 2011 года, входят технологии создания энергоэффективного производства. Применительно к грузоподъемным машинам повышение энергоэффективности может быть достигнуто за счет создания качественно новых машин, имеющих низкую энерговооруженность за счет применения оптимальных конструктивных схем и современных комплектующих.

В качестве объекта оптимизации выбран специальный тяжелый козловой кран К100У, предназначенный для выполнения строительно-монтажных и реже транспортно-складских работ. Наибольший эффект при оптимизации конструкций грузоподъемных машин в большинстве случаев достигается за счет оптимального проектирования несущих металлических конструкции, полученное при этом снижение массы позволяет значительно снизить энерговооруженность механизма передвижения крана [1, 2]. Однако применительно к тяжелым кранам, к которым относится кран К100У, непосредственно сам механизм передвижения крана обладает значительной массой и имеет значительный потенциал для оптимизации [3]. В базовом варианте механизм передвижения содержит 8 неприводных и 4 приводных ходовых колеса, каждое из которых получает вращение от асинхронного двигателя переменного тока с фазным ротором через редуктор и открытую зубчатую передачу. Управление механизмом осуществляется с помощью кулачкового командоконтроллера через магнитный контроллер (схема МКП-АДФ согласно маркировки ОСТ 24.090.85-88 [4]), регулирование скорости механизма происходит за счет пуско-регулирующих сопротивлений. Недостатками подобного привода является высокая масса, связанная с наличием магнитных контроллеров и пуско-регулирующих сопротивлений, а также крайне низкая энергоэффективность при работе на пониженных скоростях, что характерно для тяжелых монтажных кранов. Современные приводы с применением инверторных частотных преобразователей и более дешевых и надежных двигателей с коротко замкнутыми роторами имеют среднее значение КПД системы управления, равное 0,94 против 0,76 у базового варианта [4]. Помимо этого наличие частотного преобразователя позволит плавно и бесступенчато изменять скорость механизма, что весьма важно при выполнении монтажных работ.

Оптимальное проектирование механизма передвижения крана включает в себя выбор оптимальной компоновки механизма по числу ходовых и приводных колес, выбор оптимальной кинематической схемы привода колес и подбор оптимального состава комплектующих привода [5]. В базовом варианте используется компоновка с 12 ходовыми колесами диаметром 710 мм, 4 из которых являются приводными. Однако в последнее время отчетливо прослеживается тенденция увеличения применения механизмов передвижения,

состоящих из большего числа ходовых колес меньшего диаметра, особенно за рубежом, также имеет место тенденция увеличения доли приводных колес от общего числа. Преимуществом подобных схем является возможность использования ходовых колес, а также элементов привода (редукторов, электродвигателей и др.) меньших типоразмеров, изготавливаемых большими сериями и имеющими вследствие этого значительно меньшую стоимость.

Для рассматриваемого крана, исходя из максимальной нагрузки на колесо, возможны следующие варианты: 12 ходовых колес диаметром 710 мм (базовый), 16 ходовых колес диаметром 500 мм, 32 ходовых колеса диаметром 400 мм, 64 ходовых колеса диаметром 320 мм. Согласно существующим нормам расчета число приводных колес должно составлять не менее 1/3 от общего их числа, таким образом, общее число рассматриваемых компоновок привода возрастает до 12 (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры рассматриваемых компоновок механизма

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Количество ходовых колес	12	12	12	16	16	32	32	32	64	64	64	64
Диаметр колес, мм	710	710	710	500	500	400	400	400	320	320	320	320
Количество приводных колес	4	8	12	8	16	16	24	32	24	32	48	64

Кинематическая схема привода в базовом варианте включает в себя электродвигатель, горизонтальный цилиндрический редуктор, колесную установку, тормоз, упругую втулочно-пальцевую муфту для соединения валов двигателя и редуктора и открытую зубчатую передачу на тихоходном валу редуктора. Полученный привод отличается значительной массой и громоздкостью. Большинство современных механизмов передвижения имеют привод от моторов-редукторов, имеющих встроенный тормоз, и навешиваемых непосредственно на вал колесной установки, при этом тихоходный вал мотора-редуктора выполнен полым. Такая компоновка позволяет снизить габариты и массу привода, а также существенно упростить его монтаж. При решении поставленной задачи использовались цилиндро-конические моторы-редукторы «Bonfiglioli» (Италия), в целом же результаты оптимизации могут быть улучшены при рассмотрении приводов различных производителей.

При оптимизации механизмов передвижения в качестве критериев наиболее часто используют массу M , себестоимость C механизма, а также эксплуатационные затраты Θ [6]. Для первых двух случаев масса и себестоимость механизма складываются из массы и стоимости отдельных элементов (принимая, что затраты на монтаж механизма неизменны).

$$M = \sum m_i \cdot z_i = m_{\text{пр}} \cdot z_{\text{пр}} + m_{\text{непр}} \cdot z_{\text{непр}} + m_{\text{мр}} \cdot z_{\text{мр}} + m_{\delta},$$

$$C = \sum c_i \cdot z_i = c_{\text{пр}} \cdot z_{\text{пр}} + c_{\text{непр}} \cdot z_{\text{непр}} + c_{\text{мр}} \cdot z_{\text{мр}} + c_{\delta},$$

где m_i , $m_{\text{пр}}$, $m_{\text{непр}}$, $m_{\text{мр}}$, m_{δ} – соответственно масса i -го элемента механизма, приводной и неприводной колесной установки, мотора-редуктора и балансирной системы, c_i , $c_{\text{пр}}$, $c_{\text{непр}}$, $c_{\text{мр}}$, c_{δ} – соответственно стоимость i -го элемента механизма, приводной и неприводной колесной установки, мотора-редуктора и балансирной системы, z_i , $z_{\text{пр}}$, $z_{\text{непр}}$, $z_{\text{мр}}$, z_{δ} – соответственно количество i -ых элементов механизма, приводных и неприводных колесных установок, моторов-редукторов.

Эксплуатационные затраты включают в себя затраты на энергопотребление механизма, а также затраты на выполнение технического обслуживания и текущих ремонтов. Условно принимаем, что затраты на технические обслуживания и ремонты постоянны для различных вариантов привода, что в целом соответствует действительности, поскольку согласно сведениям, представленным производителем моторов-редукторов, на протяжении их штатного срока эксплуатации не требуется замена масла и комплектующих. Тогда эксплуатационные затраты могут приняты

$$\Xi = P_{\text{мр}} \cdot z_{\text{мр}} \cdot T \cdot C,$$

где $P_{\text{мр}}$ – мощность мотора-редуктора, T – время работы механизма в часах за весь период эксплуатации, C – стоимость одного кВт-ч электроэнергии.

Суммарные затраты определяем как сумму себестоимости и эксплуатационных затрат.

В результате оптимизации были получены следующие результаты: по критерию металлоемкости весьма близкие результаты (в пределах 6%) получены для 4-8 схем, а по критериям себестоимости и суммарных затрат выделяется схема №5. Таким образом, оптимальной по совокупности параметров является схема №3 с 16 ходовыми колесами диаметром 500 мм, каждое из которых является приводным.

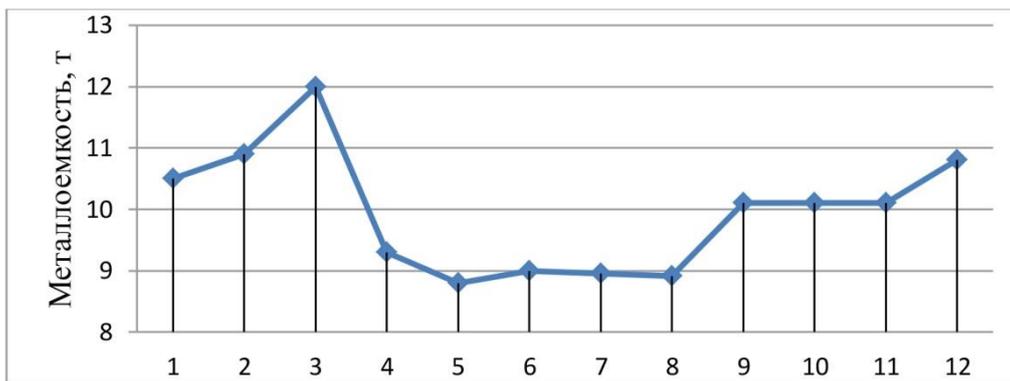


Рис.1 - Сравнение рассматриваемых вариантов по металлоемкости

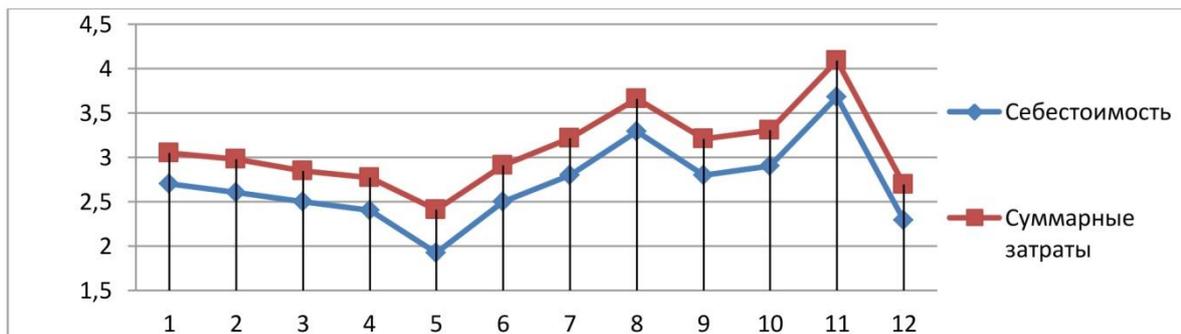


Рис.2 - Сравнение рассматриваемых схем по себестоимости и суммарным затратам (в млн. руб.)

Список литературы

1. K. Jármai. Decision support system on IBM PC for design of economic steel structures applied to crane girders. Thin-Walled Structures, Volume 10, Issue 2, 1990, pp. 143-159.
2. Xianwen Wu, Bo Chen, Dan Zhang, Jian Li. The Research on Optimal Design of Large Metallurgical Crane. Procedia Engineering, Volume 24, 2011, pp. 783-787.
3. Tong Yifei, Tang Zhaohui, Mei Song, Shen Guomin, and Gu Feng, "Research on Energy-Saving Design of Overhead Travelling Crane Camber Based on Probability Load Distribution," Mathematical Problems in Engineering, vol. 2014, pp. 1-9, 2014.
4. ОСТ 24.090.85-88. Электроприводы. Нормы расчета [Текст]. - Введ. 1988-01-07. М.: Изд-во «ВНИИПТМаш», 1988. 80 с.: ил.
5. Кобзев, Р.А. Многокритериальное оптимальное проектирование механизмов передвижения козловых кранов с применением динамического программирования [Текст] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/118-14368> (дата обращения: 03.10.2016).
6. Кобзев, Р.А. Выбор критериев оптимального проектирования специальных козловых кранов ГЭС [Текст] / Р.А.Кобзев, А.П.Кобзев // Сборник научных трудов по материалам I региональной научн.-техн. конференции «Системы автоматического проектирования и автоматизация производства» Саратов: СГТУ, 2009. с. 183-184.

05.02.10

С.В. Макаров¹, Д.П. Ильященко¹, И.Д. Садыков¹, Е.В. Огудова²

¹ Юргинский технологический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», makarovsv@tpu.ru

² Тюменский Индустриальный Университет, г. Юрга

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ В ЖИДКОМ СТЕКЛЕ ПРИ ПОМОЩИ МЕХАНОКАВИТАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

В статье рассматривается способ распределения ультрадисперсных порошков в жидком стекле при помощи механокавитационной установки активаторного типа и планетарной шаровой мельницы. Установлено, что при использовании шаровой мельницы приводит к образованию большого числа агломератов, в то время как использование механокавитационной установки позволяет равномерно распределить все ультрадисперсные порошки.

Ключевые слова: *ультрадисперсный порошок, структура, распределение, кристаллизация.*

Создание сварочных электродов с применением ультрадисперсных порошков является актуальным направлением исследований, что обусловлено, прежде всего, практической необходимостью получения сварных конструкций с повышенными механическими и эксплуатационными характеристиками. Однако проблема создания таких электродов в настоящее время еще далека от окончательного решения.

Одним из способов повышения сварочно-технологических характеристик покрытого сварочного электрода является введение в компонентный состав ультрадисперсных порошков [1, 2, 3]. В качестве модификатора в обмазочную массу сварочного электрода был выбран ультрадисперсный порошок сложного состава. Данный выбор обусловлен комплексным воздействием на свойства изготавливаемого электрода, а именно:

- Al_2O_3 – улучшает устойчивость процесса сварки, формирование сварных швов и отделимость шлаковой корки;
- SiO_2 – повышает твердость металла сварного шва;
- Ni – повышает ударную вязкость и пластичность;
- TiO_2 – обеспечивает стабильное горение дуги, препятствует росту зерна аустенита при нагреве;
- W – образует твердые соединения – карбиды, увеличивающие твердость и красностойкость металла сварного шва.

В ходе исследования было необходимо выяснить, каким образом порошок-модификатор будет распределён в объеме жидкого стекла, и как на него повлияет время и способ перемешивания (рис. 1).

Раствор жидкого стекла с различным содержанием наночастиц перемешивали при 1200 об/мин в течение 1-3 ч., затем обрабатывали на механокавитационной установке активаторного типа при температуре 35°C [6]. Когда наномодификаторы распределились равномерно, это жидкое стекло использовали для изготовления партии сварочных электродов.

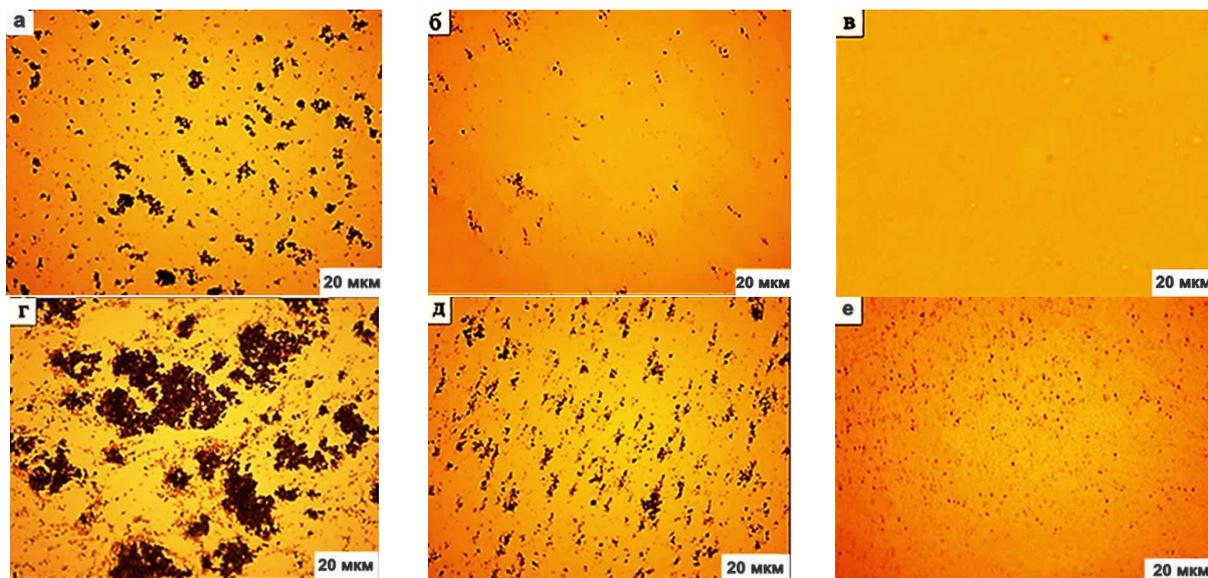


Рис. 1 – Жидкое стекло, содержащее наноразмерные модификаторы
а-в: 1 ч. перемешивание на планетарной шаровой мельнице, 30 мин. и 1 ч. перемешивание на механокавитационной установке активаторного типа
г-е: 3 ч перемешивание на планетарной шаровой мельнице, 30 мин. и 1 ч. перемешивание на механокавитационной установке активаторного типа

Полученные в данном исследовании связки ультрадисперсные частицы/жидкое стекло исследовали в двух состояниях: смешивание на планетарной шаровой мельнице и смешивание при помощи механокавитационной установки активаторного типа. Изображения на рис. 1 показывают изменение дисперсии наночастиц в жидком стекле со временем и в зависимости от способа смешивания. При механическом смешивании жидкого стекла с ультрадисперсными порошками образовывалось большое количество агломератов. Это объясняется адгезией частиц под действием сил Ван-дер-Ваальса. Из микроструктур следует, что раздробить агломераты наночастиц одним только перемешиванием на планетарной шаровой мельнице не удалось. Видно, что обработка на механокавитационной установке активаторного типа позволяет разложить все агломераты при увеличении времени перемешивания.

Как видно из рисунка 2, Ti-содержащие включения сопровождалась пластинками игольчатого феррита. Изображение Ti-содержащих включений в столбчатой зоне шва показано на рисунке 3а. Как видно, пластины игольчатого феррита могут кристаллизоваться на Ti-содержащих включениях в двух различных типах, в зависимости от размера включений, захваченной кристаллизации и звездообразной кристаллизации. В первом случае маленькие включения захвачены, в основном, пластинами игольчатого феррита (отмечены белыми стрелками). Второй тип кристаллизации начинается с более крупных включений (отмечены черными стрелками) и создает взаимосвязанную микроструктуру игольчатого феррита.

Проанализировав большое число включений комплексных оксидов Mn–Ti в Ti-раскисленной C–Mn стали, которые являются подходящими центрами для кристаллизации внутризеренного феррита, можно прийти к выводу, что основной фазой комплексных включений Mn–Ti является $MnTiO_3$. Однако, возможно образование и других включений комплексных оксидов Mn–Ti, таких как Mn_2TiO_4 и $MnOTiO_2$ [4, 5].



Рис. 2 – (а) изображение столбчатой зоны шва и (б) СЭМ-изображение, показывающий размер и распределение Ti-содержащих включений



Рис. 3 – (а) СЭМ-изображение столбчатой зоны шва, (б) более высокое разрешение изображения включений по (а)

Установлено, что предел текучести, предел прочности и твердость возрастают с увеличением количества наночастиц оксида титана, вводимых в покрытие электрода. Такое поведение связано с увеличением доли игольчатого феррита и рафинированием зерна в зонах повторного нагрева. Рафинирование зерна повышает прочность материала за счет увеличения числа, плотности и однородности распределения дислокаций.

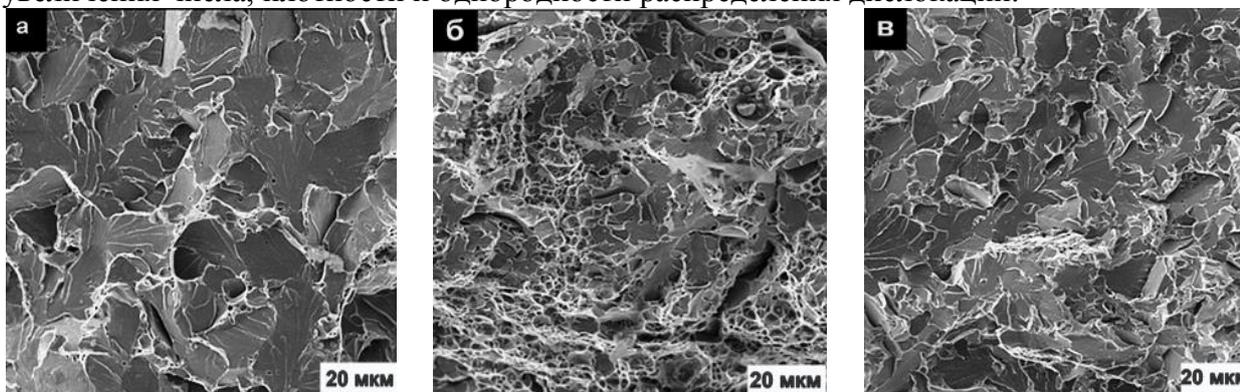


Рис. 4 – Поверхности хрупкого излома на образцах для определения ударной вязкости: (а) 0 мас.%; (б) 3 мас.%; (в) 7 мас.%

Микроснимки поверхности (рис. 4) разрушения показывают хрупкий излом. Установлено, что размер фасетов скола является определяющим параметром энергии удара. Размер фасетов скола зависит, в основном, от размеров пакета. Существенное уменьшение размеров фасетов скола было вызвано формированием игольчатого феррита, кристаллизовавшегося внутри зерна.

Таким образом, при помощи механокавитационной установки активаторного типа ультрадисперсные модификаторы можно равномерно диспергировать в жидком стекле. Следовательно, в электродном покрытии обеспечить равномерное распределение модификаторов. Процентная доля игольчатого феррита в металле сварного шва увеличивается с ростом количества наночастиц оксида титана в покрытии электрода. Данный эффект объясняется возрастанием числа центров кристаллизации на Ti-содержащих включениях и фиксирующего эффекта оксидных наночастиц на границе зерна.

Список литературы

1. Лозовой, В.Г. и др. Опыт применения российских импортозамещающих электродов ЛБ-52TRU при сварке доменной печи Новолипецкого металлургического комбината / В. Г. Лозовой, О. В. Дзюба, В. М. Дзюба и др. // Сб. докл. V международной конференции по сварочным материалам стран СНГ. – Киев, 2010. – С. 63-78.
2. *Fattahi, M., N. Nabhani, M. Hosseini, N. Arabian, E. Rahimi* Effect of Ti-containing inclusions on the nucleation of acicular ferrite and mechanical properties of multipass weld metals // *Micron* 45. November 2012, 107-114.
3. *Babu, S.S.*, 2004. The mechanism of acicular ferrite in weld deposits // *Current Opinion in Solid State And Materials Science* 8, 267-278.
4. *Gomez, M., Valles, P., Medina, S. F.* 2011. Evolution of microstructure and precipitation state during thermomechanical processing of a X80 microalloyed steel // *Materials Science and Engineering A* 528, 4761-4773.
5. *Макаров, С.В., Сапожков, С.Б.* Изготовление электродов с применением нанопорошка сложного состава (Zr, Si, Ni, Ti, Cr) / С. В. Макаров, С. Б. Сапожков. – Материалы VIII Междунар. научно-практич. конференции «Становление современной науки–2012». – Прага: Образование и наука, 2012. – С. 88-91.
6. *Nedjad, Hossein S., Moghaddam, Y.Z., Vazirabadi, A.M., Shirazi, H., Ahmadabadi, M.N.* 2011. Grain refinement by cold deformation and recrystallization of bainite and acicular ferrite structures of C–Mn steels // *Materials Science and Engineering A* 528, 1521-1526.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ (05.11.00)**

05.11.01

А.П. Буйносов д.т.н., А.Р. Динисламов

Уральский государственный университет путей сообщения,
кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, byinosov@mail.ru, al.dinislamov@gmail.com

**ВЫБОР МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ
ЧАСТИ ЭЛЕКТРОВЗОВ**

В статье рассматриваются различные методы неразрушающего контроля глубины поверхностной закалки механических деталей электровозов. Приведены основные способы повышения достоверности неразрушающего контроля глубины закалки.

Ключевые слова: электровоз, механическая часть, деталь, термоупрочнение, неразрушающий контроль, метод, выбор.

Большое количество механических деталей современных электровозов являются поверхностно закаленными, в то время как их ядра остаются в исходном структурном состоянии [1]. Измерения твердости поверхности и глубины закалки являются наиболее важными параметрами для отбраковки поверхностно закаленных стальных изделий. В настоящее время стандартными промышленными методами измерения глубины закалки являются: химические, механические и визуальные (с кислотным травлением). Они разрушающие, отнимают много времени и, следовательно, не подходят для оперативного объемного контроля. Поэтому в настоящее время прилагаются непрерывные усилия по поиску новых методов оценки глубины закалки неразрушающим способом. Нами были рассмотрены различные неразрушающие подходы: 1) использование магнитных и электромагнитных характеристик слоя [2]; 2) использование различий в скорости ультразвуковых волн в закаленном слое и ядре; 3) использование возникновения нормальных ультразвуковых волн в закаленном слое; 4) использование рассеяния ультразвуковых волн на границе закаленный слой – ядро [3].

На наш взгляд, ультразвуковой метод рассеяния является наиболее эффективным методом для измерения глубины поверхностного упрочнения деталей, закаленными токами высокой частоты. Он позволяет проводить не только качественный, но и количественный потоковый контроль. Рассмотрим метод рассеяния ультразвуковой волны на границе закаленный слой – ядро.

С помощью пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) ультразвуковая волна под определенным углом вводится в объект контроля (ОК). Наклонный ввод обеспечивает преобразование моды и увеличивает лучевую разрешающую способность. В ОК возникает поперечная волна (длина поперечной волны значительно меньше длины продольной волны, что увеличивает рассеяние на границе закаленный слой – ядро). Далее происходит отражение ультразвукового луча от поверхности ОК, в результате в части энергии возвращается на ПЭП (первый эхо). Остальная ультразвуковая энергия попадает в закаленный слой. Упрочненный поверхностный слой состоит из мелкозернистой мартенситной структуры и, следовательно, рассеяние ультразвуковой волны в этой области не происходит [4]. Тем не менее, когда поперечная волна достигает переходной зоны, где мартенситная структура постепенно переходит в феррит-перлитную структуру, которая имеет больший размер зерна, волна рассеивается на границах зерен. Переходная зона формирует второй эхо-сигнал обратного рассеяния. На рис. 1 схематично показан этот процесс, а на рис. 2 показан типичный А-скан от рассеяния на переходной зоне. Разница во

времени прихода этих двух эхо-сигналов пропорциональна глубине закалке образца, таким образом, глубина закаленного слоя определяется по формуле:

$$h = \frac{\Delta t \cdot v}{2} \cdot \cos\beta, \tag{1}$$

где Δt – разница по времени прихода поверхностного сигнала и сигнала рассеяния на переходной зоне; v – скорость поперечной волны в закаленном слое; β – угол ввода в закаленном слое.

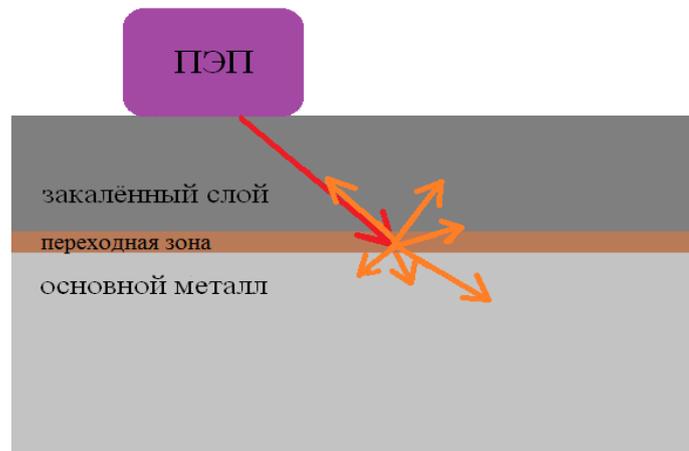


Рис. 1. Принципиальная схема рассеяния ультразвука на переходной зоне



Рис. 2. Типичный А-скан рассеяния ультразвука на переходной зоне

Амплитуда высокочастотного эхо-сигнала, рассеянного на переходной зоне зачастую не превышает 200 мкВ. Это значение приближается к предельному значению чувствительности стандартных ультразвуковых дефектоскопов. Следовательно, для воспроизводимого, достоверного контроля необходимо увеличить отношение сигнал/шум, уменьшить погрешность определения времени прихода эхо-сигнала и увеличить разрешающую способность системы дефектоскоп – ПЭП. Добиться этого можно разными способами, условно разделим их на программные и аппаратные. К программным относятся применение алгоритмов обработки сигналов, такие как преобразование Гилберта, усреднение по нескольким измерениям и др. К аппаратным относятся использование полосовых высокочастотных фильтров и оптимальных параметров ПЭП.

Усреднение по нескольким измерениям позволяет отфильтровать случайные электрические шумы, а также влияние этих шумов на полезный эхо-сигнал. Дефектоскоп запоминает несколько последовательных А-сканов (все данные сигнала на определенной развертке) затем сравнивает их по определенному алгоритму. Усреднение позволяет значительно увеличить отношение сигнал/шум.

Очередным отрицательным фактором являются низкочастотные акустические шумы. Они возникают в следствии радиальных колебаний пьезопластины. Эти шумы повторяются во времени и, следовательно, усреднение на них не действует. Полосовой высокочастотный фильтр позволяет отфильтровать эти низкочастотные шумы. Центральная частота выбирается в зависимости от ПЭП.

Был сконструирован ПЭП с резонансной частотой 15 МГц. В качестве ОК выбран цилиндрический образец из стали, глубина закаленного слоя 8 мм. Измерения проводились в иммерсионной ванне с водой. Для выбора оптимального угла ввода была построен график зависимости амплитуды эхо-сигнала рассеяния от угла наклона ПЭП (см. рис. 3). Оптимальный угол ввода вычислен по закону Снеллиуса:

$$\beta = \sin^{-1} \left[\frac{v_{ст.}}{v_{ср.}} \right] \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

где $v_{ст.}$ – скорость поперечной волны в закаленном слое; $v_{ср.}$ – скорость продольной волны в среде (или призме); α – угол наклона ПЭП (или угол призмы).

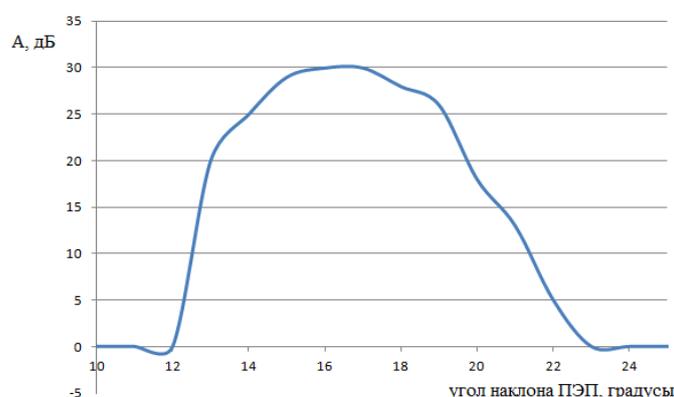


Рис. 3. Зависимость амплитуды эхо-сигнала рассеянной волны от угла наклона ПЭП

Максимум амплитуды эхо-сигнала приходится на угол наклона ПЭП 16–18 градусов. Это соответствует 38–41 градусам в стали.

Для дальнейшего развития ультразвукового метода определения глубины закалки, требуется исследовать зависимость амплитуды отраженного сигнала от ширины переходной зоны, а также от градиента твердости в этой зоне.

Список литературы

1. Динисламов А.Р. О совершенствовании методов оценки безотказности несущих деталей железнодорожного подвижного состава // В сб.: Новые информационные технологии в науке. Сборник статей Международной науч.-практ. конф. (г. Уфа, 28.11.2016 г.). В 4 ч. Ч. 2. – Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2015. – С. 56–62.
2. Буйносов А.П., Денисов Д.С. Прибор для неразрушающего метода контроля железнодорожных рельсов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 3. – С. 56–58.
3. Динисламов А.Р. Ультразвуковой метод контроля глубины закаленного слоя деталей электровозов // В сб.: Научные исследования разработки в эпоху глобализации. Сборник статей Международной науч.-практ. конф. (г. Пермь, 25.11.2016 г.). В 7 ч. Ч.3 – Пермь: АЭТЕРНА, 2015. – С. 46–52.
4. Буйносов А.П. Выбор остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11 // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2013. – Т. 6. – № 2. – С. 221–228.

05.11.00

Б.С. Лиджиев¹, Ж.В. Овадыкова¹, В.П. Очир-Горяев¹

¹Ухтинский государственный технический университет,
Строительно - технологический институт,
кафедра метрологии, стандартизации и сертификации,
г.Ухта., zhanna_ovadykova@mail.ru

О СЛОЖЕНИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Рассмотрены трудности, возникающие при решении задачи сложения погрешностей. Предложены две модели. Показано, что погрешности можно представить векторами с учётом разнонаправленности их совместного действия. При этом в случае взаимного влияния погрешностей измеряемых величин коэффициент корреляции равен среднему значению косинуса угла между векторами. Векторная модель погрешностей может быть обобщена и представлена в виде комплексного числа, названного символьной моделью погрешности.

Ключевые слова: метрология, погрешность, сложение погрешностей, коэффициент корреляции, векторная модель погрешности, символьная модель погрешности.

Погрешности измерений являются универсальной характеристикой качества измерений. Источники появления погрешности имеют разную природу. В самом общем случае в соответствии с представлениями о погрешностях измерений их принято делить по характеру проявления на две основные составляющие: систематическую и случайную. Но задача выражения реальной результирующей погрешности как единой характеристики представляет сложную задачу. Оценка результирующей погрешности может быть произведена только расчётным путём при известных оценках её составляющих, практически всегда возникающих при измерениях. Например, при определении погрешности измерительного преобразователя или прибора имеются основная, дополнительные погрешности от колебаний температуры, напряжения источника питания, внешних электромагнитных полей и т.п. Сложность суммирования погрешностей заключается в том, что они должны рассматриваться как случайные величины, действующие разнонаправленно. Систематическую погрешность можно исключить из результатов измерений, доведя её до уровня случайной. С точки зрения теории вероятностей каждая из них наиболее полно могут быть описаны своими законами распределения, а их результирующее значение – многомерным законом распределения [1]. Но в такой постановке суммирование погрешностей трудно разрешима даже для 3-4 составляющих и практически неразрешима, когда их число будет составлять десятки. К тому же их индивидуальные функции распределения могут деформироваться на различных диапазонах измерений. Поэтому практическое решение задачи состоит в том, чтобы упростить её без определения результирующего многомерного закона распределения рассматриваемых случайных величин. Наиболее общим упрощающим предположением является малость по абсолютному значению погрешности относительно самой измеряемой величины. Следующим шагом является использование обобщённых эффективных характеристик погрешности таких как среднеквадратическое отклонение (СКО) σ или в виде энтропийной погрешности $\Delta_3 = k\sigma$ или доверительного интервала $\Delta = t\sigma$, k – энтропийный коэффициент, зависящий от закона распределения [2], t – коэффициент Стьюдента. Таким образом, приведённые понятия можно использовать в качестве меры неточности измерений, с учётом их особенностей.

В данной работе предлагаются способы формализации представления суммарной погрешности. Суть заключается в следующем. Если допустить, что при прямых измерениях присутствует только один тип погрешности Δ_1 , то появление по какой-либо причине другой составляющей Δ_2 не может привести к возрастанию точности. Исходя из самых общих соображений ясно, что результирующая погрешность измерений должна возрасти. Каким образом их следует суммировать?

В учебной литературе нередко рекомендуется просто арифметически складывать погрешности измерений:

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 \quad (1)$$

Это является довольно грубым приближением реальности, т.к. предполагается, что составляющие погрешности одновременно принимают свои максимальные значения в одну сторону. Более обоснованным считается геометрическое сложение погрешностей по закону «суммы квадратов» [3]:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} \quad (2)$$

Вычисление по формуле (2) даёт меньшую величину результирующей погрешности.

Это можно обосновать следующими качественными соображениями:

а) вероятность того, что при проведении конкретного измерения все погрешности приняли свои максимальные значения, невелика;

б) отдельные составляющие результирующей погрешности могут, действуя разнонаправленно, частично компенсировать друг друга;

в) они могут частично взаимно поглощать друг друга.

Применительно к дисперсии, если её использовать для характеристики неточности измерений вместо погрешностей, широко известно более общим выражение, охватывающим формулы (1) и (2) при любом законе её распределения, может служить выражение [4, с.156]:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n r_{ij} \sigma_i \sigma_j,$$

где r_{ij} – коэффициент корреляции дисперсий, возможные значения которого укладываются в интервале: $-1 \leq r_{ij} \leq +1$. Большие по модулю значения r_{ij} соответствуют сильной корреляции между ними. С учётом этого, для частного случая $n=2$, получим:

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2r_{12}\sigma_1\sigma_2 \quad (3)$$

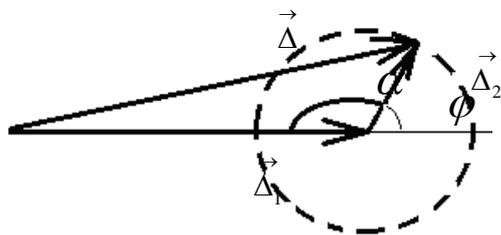
При сильной корреляции $r_{12} \approx \pm 1$ формула (3) аналогична (1), а при слабой корреляции $r_{12} \approx 0$, или её отсутствии (3) – аналогична формуле (2).

Для обоснования и придания большей наглядности приведённых положений в [5] нами предложена векторная модель сложения погрешностей. Суть идеи заключается в следующем.

Предлагается погрешности рассматривать как векторные величины, а совместное действие как векторную сумму:

$$\vec{\Delta} = \vec{\Delta}_1 + \vec{\Delta}_2$$

На рис. 1, представлена данная модель.



«Рис.» 1- Векторная модель сложения погрешностей

Начало результирующего вектора совпадает с началом вектора $\vec{\Delta}_1$, а конец может находиться в любом из геометрических мест точек на окружности радиуса Δ_2 с центром на конце вектора $\vec{\Delta}_1$, как видно из рисунка.

По теореме косинусов:

$$\Delta^2 = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 - 2\Delta_1\Delta_2 \cos \alpha$$

Т.к. $\alpha + \varphi = 2\pi$, то $\cos\varphi = -\cos\alpha$, где α и φ углы, показанные на рис.1. Поэтому вышеприведенное выражение можно записать в виде:

$$\Delta^2 = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + 2\Delta_1\Delta_2 \cos\varphi$$

Т.к. погрешность – статистическая величина, то необходимо усреднение всех величин в этой формуле:

$$\langle \Delta^2 \rangle = \langle \Delta_1^2 \rangle + \langle \Delta_2^2 \rangle + 2\langle \Delta_1 \rangle \langle \Delta_2 \rangle \langle \cos\varphi \rangle \quad (4)$$

Формула будет (4) аналогична формуле (3), если принять, что $r_{12} = \langle \cos\varphi \rangle$. Т.к. $-1 \leq \langle \cos\varphi \rangle \leq +1$, то имеем совпадение выражений (3) и (4). Из этого следует, что коэффициенту корреляции r_{ij} можно придать вполне ясный геометрический смысл: он численно равен среднему значению косинуса угла между векторами погрешности. Его значение можно найти по формуле:

$$\langle \cos\varphi \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\varphi) \cos\varphi d\varphi$$

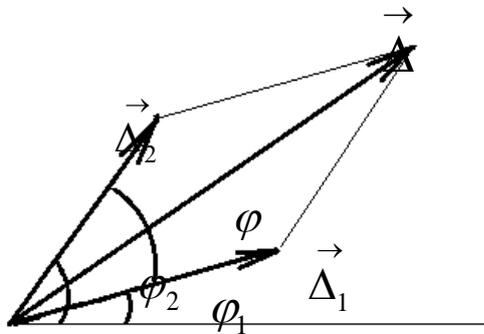
где $f(\varphi)$ – функция распределения, учитывающая взаимную ориентацию векторов погрешностей. В этой модели понятие корреляция означает связь во взаимных ориентациях векторов погрешностей.

В частности, при полном отсутствии корреляции φ принимает с равной вероятностью разные значения, $f(\varphi) = \text{const} = C$:

$$\langle \cos\varphi \rangle = \frac{1}{2\pi} C \int_0^{2\pi} \cos\varphi d\varphi = \frac{1}{2\pi} C \sin\varphi \Big|_0^{2\pi} = 0$$

Взаимная корреляция проявляется в данной модели как предпочтительная взаимная ориентация векторов погрешностей.

Такая модель позволяет просто и наглядно обосновать правило определения результирующей погрешности. Обобщение подхода к описанию изложенной идеи приведен на рис. 2.



«Рис.» 2- Обобщенная векторная модель

Если сложить вектора по правилу параллелограмма, где углы отсчитываются относительно некоторой общей оси, то в формуле (4) $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.

Применительно к дисперсии можно записать аналогичное выражение:

$$\langle \sigma^2 \rangle = \langle \sigma_1^2 \rangle + \langle \sigma_2^2 \rangle + 2\langle \sigma_1 \rangle \langle \sigma_2 \rangle \langle \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \rangle \quad (5)$$

Рассмотренная модель может быть усовершенствована и представлена в виде символьной модели, если рассматривать σ_k как комплексные числа: $\dot{\sigma}_k = \sigma_k e^{i\varphi_k}$, а результирующее СКО равно:

$$\dot{\sigma} = \sum_{k=1}^n \sigma_k e^{i\varphi_k}, \quad (6)$$

где i – мнимая единица.

Для частного случая $n = 2$ из (6) получим: $\dot{\sigma} = \sigma_1 e^{i\varphi_1} + \sigma_2 e^{i\varphi_2}$. Квадрат модуля σ можно

выразить как произведение комплексной величины $\dot{\sigma}$ на её комплексно-сопряжённую величину $\dot{\sigma}^*$:

$$\begin{aligned} |\sigma|^2 &= \dot{\sigma} \cdot \dot{\sigma}^* = (\sigma_1 e^{i\varphi_1} + \sigma_2 e^{i\varphi_2})(\sigma_1 e^{-i\varphi_1} + \sigma_2 e^{-i\varphi_2}) = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_1 \sigma_2 (e^{-i(\varphi_2 - \varphi_1)} + e^{i(\varphi_2 - \varphi_1)}) = \\ &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2\sigma_1 \sigma_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1). \end{aligned}$$

Если усреднить это выражение, то придём к формуле (5). Здесь использована известная формула Муавра: $e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \cdot \sin \varphi$.

Таким образом, в данной работе рассмотрены векторная и символьная модели сложения погрешностей и коэффициенту корреляции придан геометрический смысл.

Выше шла речь о погрешностях прямых измерений. Результирующая погрешность косвенного измерения определяется расчётом прямых измерений величин являющихся аргументами x_1, x_2, \dots, x_n функции $y=f(x_1, \dots, x_n)$, являющейся косвенно определяемой величиной. Если погрешности Δx_i аргументов x_i известны, то погрешность искомой величины Δy можно вычислить, пользуясь правилами дифференцирования, по формуле:

$$\Delta y \approx \left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \right) \Delta x_1 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \right) \Delta x_n$$

На основе вышеизложенных соображений, рассматривая отдельные составляющие как векторы, или рассматривая их как компоненты общего вектора, можно обосновать [2] применение формулы при отсутствии корреляции:

$$\sigma_Y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \sigma_{x_1} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \sigma_{x_n} \right)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2} \quad (7),$$

которая находит широкое применение в метрологии между измеряемыми величинами.

При наличии взаимосвязи аргументов, с учётом (7) по аналогии с уравнением (3) можно выразить σ_Y :

$$\sigma_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2 + 2 \sum_{k,l=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_k} \frac{\partial f}{\partial x_l} r_{kl} \sigma_{x_k} \sigma_{x_l}}$$

Векторную модель в этом случае можно представить в виде:

$$\vec{\sigma}_Y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \vec{\sigma}_{x_i}.$$

Более удобным может быть символьное представление:

$$\dot{\sigma}_Y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \sigma_{x_i} e^{i\varphi_i}$$

Также как и в случае прямых измерений роль коэффициента корреляции играет усреднённое значение косинуса угла между векторами в векторной модели, или аргумента φ в символьном представлении погрешностей.

Следует отметить, что представление о точности измерений за последние 40 лет претерпело существенные изменения. Бурное развитие вычислительной техники породило значительные возможности для обработки результатов измерений. Однако математические вероятностные модели погрешностей, определение доверительных границ и значения доверительных вероятностей в разных странах отличались друг от друга, что приводило к определенным трудностям при сопоставлении результатов измерений. Поэтому методы описания погрешности измерений перестали удовлетворять ряду требований, предъявляемых к решаемым в теоретической метрологии задачам. Для устранения этих сложностей было введено понятие «неопределённости измерений». В 1993г. под эгидой семи международных организаций было разработано «Руководство по выражению неопределённости измерений» (GUM – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement). В 1999 году «Руководство» было переведено на русский язык [6]. Одни метрологи положительно отнеслись к новому

подходу. Другие же, наоборот, отнеслись отрицательно, т.к. концепция «неопределенности измерений» непосредственно несовместима с государственной системой обеспечения единства измерений (ГСИ) и системой стандартов по статистическим методам. Поэтому в Российской Федерации пока ещё для выражения точности измерений по-прежнему используется понятие погрешности, хотя концепция неопределённости измерений находит все более широкое применение, разработаны нормативные документы: РМГ 43 – 2001. Применение «Руководства по выражению неопределённости измерений»; ГОСТ Р 54500.3 – 2011; Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 и др.

Список литературы

1. *Сергеев, А.Г.* Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие/ Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. –2-е изд., перераб. и доп. М.: Университетская книга; Логос, 2009. – 560 с.: илл.
2. *Новицкий П.В.* Основы информационной теории измерительных устройств. – Л.: Энергия, 1968. – 248 с.
3. *Старовиков, М.И.* Введение в экспериментальную физику. Учебное пособие. – СПб. – М. – Краснодар: Лань, 2008 – 240 с.
4. *Широков, В.Н., Лобанков, В.М.* Метрология, стандартизация, сертификация: Учебник. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 498 с.: илл.
5. *Лиджиев Б.С.* Векторная модель погрешности // Сб. научных трудов. Материалы научно-технической конференции (22-25 апреля 2014г.). Ухта, УГТУ, 2014. – с. 235 – 237.
6. Руководство по выражению неопределённости измерения. Пер. с англ., науч. ред. проф. Слаев В.А. – СПб: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1999. – 134 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И
УПРАВЛЕНИЕ (05.13.00)**

05.13.18

¹В.Н. Абузьяров, ¹В.Н. Елисеев к.п.н., ²Е.Н. Чернопрудова к.т.н.

¹Филиал Московского технологического института г. Оренбург,
кафедра «Информатика и автоматизация», it@mti-orenburg.ru¹,

²Оренбургский Государственный Университет povt_en@mail.ru²

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ СЛОЯМИ В
КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ**

В данной статье представлена математическая модель температурной связи между многослойными структурами в композиционном материале. Даны рекомендации по использованию приближенных численных методов обращения в преобразованиях Лапласа.

Ключевые слова: *температура, теплопроводность, слои композиционного материала, матрица коэффициентов, собственные числа.*

В ряде статей о композиционных материалах (КМ) мало внимания уделяется повышению их качества и надежности [1]. Более глубокое исследование межслойного взаимодействия представлено в [2].

Допустим, имеем слоистый КМ, состоящий из n -слоев, разделенных $n-1$ границами, на которых задаются условия сопряжения.

Рассмотрим такое сопряжение в n -слойной плоской стенке в соответствии с рисунком 1.

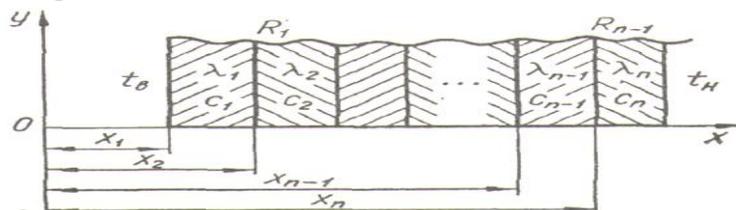


Рис. 1 – Теплопроводность в n -слойной плоской стенке

Представим в виде вектор – столбцов контактные сопротивления, теплопроводности, теплоемкости:

$$\bar{\lambda} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_{n-1} \\ \lambda_n \end{bmatrix}; \quad \check{R} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{n-1} \\ R_n \end{bmatrix}; \quad \check{C} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{n-1} \\ C_n \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где λ – теплопроводность, R – контактное соединение, C – теплоемкость

Зададим граничные условия 1-го рода – температуру внутренней поверхности t_B и наружной — t_A .

По оси координат обозначим $x_0 = 0, x_1, \dots, x_n$; слои — через δ_i , поле температуры $t_i(x, \tau) = f_i(x, \tau)$, $i=1, 2, \dots, n$.

Тогда систему дифференциальных уравнений можно представить в виде:

$$\frac{\partial t_i}{\partial \tau} = a_i \frac{\partial^2 t_i}{\partial x^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

где $a_i = \lambda_i / C_i$ — коэффициенты температуропроводности.

Введем условия взаимодействия между контактами:

$$\lambda_i = \frac{\partial t_i(x_i, \tau)}{\partial x} = \lambda_{i+1} \frac{\partial t_{i+1}(x_i, \tau)}{\partial x}; \quad (3)$$

$$\lambda_i = \frac{\partial t_i(x_i, \tau)}{\partial x} = \frac{1}{R} [t_{i+1}(x_i, \tau) - t_i(x_i, \tau)]. \tag{4}$$

Вектор-столбец неизвестных тепловых потоков на границе слоев представим в виде

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_{n-1} \end{bmatrix}. \tag{5}$$

Тогда задачу сведем к решению систем линейных краевых задач

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial t_1}{\partial \tau} &= a_1 \frac{\partial^2 t_1}{\partial x^2}; \\ t_1(x, 0) &= f_1(x); \quad t_1(0, \tau) = t_B; \\ \frac{\partial t_1(x_1, \tau)}{\partial x} &= \frac{1}{\lambda_1} A_1(\tau); \end{aligned} \right\} \tag{6}$$

$$\dots \dots \dots \left. \begin{aligned} \frac{\partial t_i}{\partial \tau} &= a_i \frac{\partial^2 t_i}{\partial x^2}; \\ t_i(x, 0) &= f_i(x); \quad \lambda_i \frac{\partial t_i(x_{i-1}, \tau)}{\partial x} = A_{i-1}(\tau); \\ \lambda_i \frac{\partial t_i(x_i, \tau)}{\partial x} &= A_i(\tau); \end{aligned} \right\} \tag{7}$$

$$\dots \dots \dots \left. \begin{aligned} \frac{\partial t_n}{\partial \tau} &= a_n \frac{\partial^2 t_n}{\partial x^2}; \\ t_n(x, 0) &= f_n(x), \quad \lambda_n \frac{\partial t_n(x_{n-1}, \tau)}{\partial x} = A_{n-1}(\tau); \\ t_n(x_n, \tau) &= t_n. \end{aligned} \right\} \tag{8}$$

Задачи (6) — (8), можно решить посредством метода конечных интегральных преобразований.

Разрешая уравнения для изображений и переходя к оригиналу, представим температурные поля в виде:

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{2}{\delta_1} \sum_{\gamma=1}^{\infty} \exp(-a_1 s_{\gamma_1}^2 \tau) \left\{ \frac{t_B}{s_{\gamma_1}} [\exp(a_1 s_{\gamma_1}^2 \tau) - 1] + \right. \\ &+ (-1)^{\gamma-1} \frac{a_1}{\gamma_1} \int_0^{\tau} A_1(\omega) \exp(a_1 s_{\gamma_1}^2 \omega) d\omega + \int_0^{x_1} f_1(x) \sin s_{\gamma_1} x dx \left. \right\} \sin s_{\gamma_1} x \tag{9} \\ t_i &= \frac{1}{\delta_i} \left\{ \int_{x_{i-1}}^{x_i} f_i(x) dx + \frac{a_i}{\lambda_i} \int_0^{\tau} [A_i(\omega) - A_{i-1}(\omega)] d\omega \right\} + \\ &+ \frac{2}{\delta_i} \sum_{\gamma=1}^{\infty} \exp(-a_i s_{\gamma_i}^2 \tau) \left\{ \frac{a_i}{\lambda_i} \int_0^{\tau} [(-1)^{\gamma} A_i(\omega) - A_{i-1}(\omega)] * \right. \\ &* \exp(a_i s_{\gamma_i}^2 \omega) d\omega + \int_{x_{i-1}}^{x_i} f_i(x) \cos s_{\gamma_i} (x - x_{i-1}) dx \left. \right\} \cos s_{\gamma_i} (x - x_{i-1}), \\ & \quad \quad \quad i = 2, \dots, n - 1; \tag{10} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_n &= \frac{2}{\delta_n} \sum_{\gamma=1}^{\infty} \exp(-a_n s_{\gamma_n}^2 \tau) \left\{ (-1)^{\gamma-1} \frac{t_M}{s_{\gamma_n}} [\exp(a_n s_{\gamma_n}^2 \tau) - 1] - \right. \\ &- \frac{a_n}{\lambda_n} \int_0^{\tau} A_{n-1}(\omega) \exp(a_n s_{\gamma_n}^2 \omega) d\omega + \\ &\left. \int_{x_{n-1}}^{x_n} f_n(x) \cos s_{\gamma_n} (x - x_{n-1}) dx \right\} \cos s_{\gamma_n} (x - x_{n-1}). \tag{11} \end{aligned}$$

Собственные числа в задачах Штурма — Лиувилля представим в виде:

$$s_{\gamma_1} = \frac{2\gamma-1}{2\delta_1}\pi; \quad s_{\gamma_i} = \frac{\gamma\pi}{\delta_i}; \quad i = 2, \dots, n-1;$$

$$s_{\gamma_n} = \frac{(2\gamma-1^i)\pi}{2\delta_n}. \quad (12)$$

Учитывая условия взаимодействия на границах слоев (3) - (4), после вычислений получим систему интегральных уравнений Вольтерра 2-го рода типа свертки

$$\left. \begin{aligned} A_1(\tau) &= \Phi_1(\tau) + \int_0^\tau K_{11}(\tau-z) A_1(z) dz + \int_0^\tau K_{12}(\tau-z) A_2(z) dz; \\ &\dots\dots\dots; \\ A_i(\tau) &= \Phi_i(\tau) + \int_0^\tau K_{i,i-1}(\tau-z) A_{i-1}(z) dz + \\ &+ \int_0^\tau K_{i,i}(\tau-z) A_i(z) dz + \int_0^\tau K_{i,i+1}(\tau-z) A_{i+1}(z) dz; \\ &\dots\dots\dots; \\ A_{n-1}(\tau) &= \Phi_{n-1}(\tau) + \int_0^\tau K_{n-1,n-2}(\tau-z) A_{n-2}(z) dz + \\ &+ \int_0^\tau K_{n-1,n-1}(\tau-z) A_{n-1}(z) dz. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \Phi_1(\tau) &= \frac{1}{R_1\delta_2} \left[\int_{x_1}^{x_2} f_2(x) dx + 2\delta_2 \sum_{\gamma=1}^{\infty} \left\{ \frac{1}{\delta_2} \exp(-a_2 s_{\gamma_2}^2 \tau) * \right. \right. \\ &* \int_{x_1}^{x_2} f_2(x) \cos s_{\gamma_2} (x-x_1) dx - \frac{(-1)^{\gamma-1} t_B}{\delta_1 s_{\gamma_1}} [1 - \exp(-a_1 s_{\gamma_1}^2 \tau)] - \\ &\left. \left. - \frac{(-1)^{\gamma-1}}{\delta_1} \exp(-a_1 s_{\gamma_1}^2 \tau) \int_0^{x_1} f_1(x) \sin s_{\gamma_1} x dx \right\} \right]; \\ K_{11}(\tau-z) &= -\frac{a_2}{R_1\delta_2\lambda_2} - \frac{2}{R_1} \sum_{\gamma=1}^{\infty} \left\{ \frac{a_1}{\lambda_1\delta_1} \exp[-a_1 s_{\gamma_1}^2 (\tau-z)] + \right. \\ &\left. + \frac{a_2}{\lambda_2\delta_2} \exp[-a_2 s_{\gamma_2}^2 (\tau-z)] \right\}; \\ K_{12}(\tau-z) &= \frac{a_2}{R_1\lambda_2\delta_2} \left\{ 1 + 2 \sum_{\gamma=1}^{\infty} (-1)^\gamma \exp[-a_2 s_{\gamma_2}^2 (\tau-z)] \right\}; \\ \Phi_i(\tau) &= \frac{1}{R_i\delta_{i+1}} \int_{x_i}^{x_{i+1}} f_{i+1}(x) dx - \frac{1}{R_i\delta_i} \int_{x_{i-1}}^{x_i} f_i(x) dx + \\ &+ \frac{2}{R_i} \sum_{\gamma=1}^{\infty} \frac{1}{\delta_{i+1}} \exp[-a_{i+1} s_{\gamma_{i+1}}^2 \tau] \int_{x_i}^{x_{i+1}} f_{i+1}(x) \cos s_{\gamma_{i+1}} (x-x_i) dx - \\ &- \frac{(-1)^\gamma}{\delta_i} \exp(-a_1 s_{\gamma_1}^2 \tau) \int_{x_{i-1}}^{x_i} f_i(x) \cos s_{\gamma_i} (x-x_{i-1}) dx. \end{aligned}$$

Систему уравнений (13) запишем в матричной форме

$$\tilde{A}(\tau) = \tilde{\Phi}(\tau) + \int_0^\tau \tilde{K}(\tau-z) \tilde{A}(z) dz. \quad (14)$$

Представленная задача теплопроводности через n -слойную среду КМ приводится к матрице — $\tilde{K}(\tau-z)$ интегрального уравнения (14).

На основании (13) можем записать

$$\tilde{K}(\tau - z) = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & K_{32} & K_{33} & K_{34} & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & K_{n-1,n-2} & K_{n-1,n-1} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Используя преобразование Лапласа и теорему о свертке, найдем

$$\bar{A}(p) = \bar{\Phi}(p) + \bar{K}(p)A(p),$$

тогда

$$[\bar{K}(p) - J]\bar{A}(p) = -\bar{\Phi}(p), \quad (16)$$

здесь J — единичная матрица, $\bar{\Phi}$ — столбец свободных членов уравнения (14), $\bar{A}(p)$ — матрица-столбец на границах слоев

$$\begin{aligned} & \bar{K}(p) - J = \\ & = \begin{bmatrix} \bar{K}_{11} & \bar{K}_{12} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \bar{K}_{21} & K_{22} - 1 & K_{23} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \bar{K}_{32} & K_{33} - 1 & K_{34} & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \bar{K}_{n-1,n-2} & \bar{K}_{n-1,n-1} - 1 \end{bmatrix} - \end{aligned} \quad (17)$$

В обычном виде

$$\left. \begin{aligned} a_1 z_1 + b_1 z_2 &= \varphi_1; \\ c_1 z_1 + a_2 z_2 + b_2 z_3 &= \varphi_2; \\ c_2 z_2 + a_3 z_3 + b_3 z_4 &= \varphi_4; \\ \dots & \dots; \\ c_{k-2} z_{k-2} + a_{k-1} z_{k-1} + b_{k-1} z_k &= \varphi_{k-1}; \\ c_{k-1} z_{k-1} + a_k z_k &= \varphi_k. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Пусть $b_i \neq 0$ ($i = 1, 2, 3, \dots, k - 1$). Если не учитывать в системе (18) последнее уравнение, то получим систему из $k - 1$ уравнений с неизвестными z_1, z_2, \dots, z_k . Тогда z_1 можно выбрать любым. Решим систему, для $z_1 = z_1^0 = 0$. Тогда

$$\begin{aligned} b_1 z_2 &= \varphi_1; \\ a_2 z_2^0 + b_2 z_3^0 &= \varphi_2; \\ \dots & \dots \\ c_k z_{k-1}^0 + a_{k-1} z_{k-1}^0 + b_{k-1} z_k^0 &= \varphi_{k-1}. \end{aligned} \quad (19)$$

Матрица коэффициентов является треугольной и получаем систему значений $z_1^0 = 0, z_2^0, \dots, z_k^0$.

Примем $z_1 = z_1^1 = 1$. Тогда решения могут быть $z_1^1 = 1, z_2^1, z_3^1, \dots, z_k^1$.

Тогда столбец вида

$$z_0 + \mu(z^1 - z^0) = \begin{bmatrix} z_1^0 + \mu(z_1^1 - z_1^0) \\ z_2^0 + \mu(z_2^1 - z_2^0) \\ \dots \\ z_k^0 + \mu(z_k^1 - z_k^0) \end{bmatrix} \quad (20)$$

будет также решением (18) с отброшенным последним уравнением. Представим μ таким образом, чтобы удовлетворялось и последнее уравнение системы (18). Тогда из этого уравнения получим

$$c_{k-1} z_{k-1}^0 + c_{k-1} \mu(z_{k-1}^1 - z_{k-1}^0) + a_k z_k^1 + a_k \mu(z_k^1 - z_k^0) = \varphi_k.$$

Отсюда

$$\mu = \frac{\varphi_k - c_{k-1} z_{k-1}^0 - a_k z_k^1}{c_{k-1} (z_{k-1}^1 - z_{k-1}^0) + a_k (z_k^1 - z_k^0)}. \quad (21)$$

Определив μ по формуле (21) и подставив его в (18), получаем решение системы (16). Для обратного преобразования по Лапласу используют приближенные численные методы обращения в преобразовании Лапласа с помощью ЭВМ.

Список литературы

1. *Абузяров В.Н., Елисеев В.Н.* Применение метода Брандона для построения статистической модели / В.Н. Абузяров, В.Н. Елисеев, В.И. Чепасов // Научно-технический вестник Поволжья: научный журнал
2. *Федоткин И.М.* Математическое моделирование технологических процессов : Учебное пособие. Изд. стереотип. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. – 416 с.

05.13.00

А.А. Алейников¹, К.З. Билятдинов²¹военнослужащий, Министерство обороны Российской Федерации,
Москва, w10wq@mail.ru²Горный университет, кафедра метрологии и управления качеством
Санкт-Петербург, k01b@mail.ru**МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ**

Представлен вариант оптимизации процесса оценки качества управления в сложных системах на основе процессного подхода и рационального применения групповых экспертных оценок. В модели описан предлагаемый математический аппарат, введено понятие и формула коэффициента учета постоянных величин для формулы Кэндэла. Кратко изложено сущность и содержание применения данной модели на практике для повышения качества управления.

Ключевые слова: управление, качество, модель, оценка, эксперт, система, оптимизация, коэффициент учета постоянных величин.

Задачу повышения качества управления в сложных системах невозможно решить без предварительной и всесторонней оценки качества управления. Таким образом, становится актуальной оптимизация процесса оценки качества управления в сложных системах на основе процессного подхода и рационального применения групповых экспертных оценок, то есть формирование и применение модели оценки качества управления. Это сформирует информационные резервы системы. [1, С.77]

Для достижения выше сформулированной цели достаточное число экспертов рационально определить по формуле [2, 3]:

$$m = \frac{\varphi \cdot d^2}{\Delta Q \cdot (1 \div \gamma)}, \quad (1)$$

где m - число экспертов, d - размах экспертных оценок, γ - доверительная вероятность, (φ - табличный коэффициент для заданной доверительной вероятности γ , ΔQ - погрешность коллективной экспертной оценки).

Например, при заданном размахе экспертных оценок, $d = 5$ и значении погрешности коллективной экспертной оценки $\Delta Q = 1$, на уровне доверительной вероятности $\gamma = 0,8$ ($\varphi_{\text{tab}} = 0,09$), получим $m = 11$ экспертов.

Выбор и оценку компетентности экспертов для модели оценки качества управления возможно оптимизировать с помощью комплексного (комбинированного) метода оценки:

$$K_j = \sum_{l=1}^L C_l K_{jl} \quad (2)$$

где K_{jl} - коэффициент компетентности j -го эксперта определенного по l -й анкете $L = 1, 2, \dots, L$ число анкет. C_l - весовой коэффициент l -й анкеты [2, 3].

На практике, исходя из цели применения модели для оценки качества управления, подбор и оценку компетентности экспертов рационально комплексно проводить с помощью четырех методов: методом взаимных рекомендаций (C_1), методом самооценки (C_2), методом оценки аргументированности (C_3) и методом анкетных данных (C_4).

В зависимости от специфики решаемых задач управления целесообразно использовать один из двух способов формирования коллективной оценки экспертов, которые применимы непосредственно в процессе управления.

Первый способ. Для формирования коллективной оценки относительной упорядоченности событий по установленным экспертным отношениям порядка поставим в соответствие каждому событию a_j некоторое число b_j по следующему правилу [2, 3]:

$$b_j = \frac{\sum_{q \in \{q\}} q \sum_{i \in \{i_{jq}\}} v_i}{\sum_{i \in \{i\}} v_i} \quad (3)$$

При этом количественно b_j характеризует взвешенную сумму мест (номеров позиций), присвоенных событию a_j группой экспертов. Обозначим через $\{i\}$ – $i = 1, 2, 3, \dots, N$ – множество экспертов; через $\{q\}$ – $q = 1, 2, 3, \dots, r$ – множество позиций, по которым распределяются события (совпадает с числом событий); $\{j\}$ – $j = 1, 2, 3, \dots, r$ – множество событий (элементов); $\{i, j\}$ – множество экспертов, поставивших j -тое событие на q -ю позицию; $v_i, i = 1, 2, 3, \dots, N$ – весовые коэффициенты экспертов.

Если весовые коэффициенты экспертов равны коэффициентам компетентности, то в данном случае сумма весовых коэффициентов (коэффициентов компетентности) экспертов равна единице, согласно условию нормировки, то есть $\sum_{i \in \{i\}} v_i = 1$. Тогда формула (3) будет

иметь вид:

$$b_j = \sum_{q \in \{q\}} q \sum_{i \in \{i_{jq}\}} v_i \quad (4)$$

Располагая числа b_j в порядке их возрастания или, что то же, соответствующие им события a_j в порядке убывания предпочтительности, получим:

$$b_1 < b_2 < \dots < b_r \Rightarrow P_1 > P_2 > \dots > P_r \quad (5)$$

Найденное отношение порядка между предпочтительностями событий a_j и представляет коллективное мнение группы экспертов [2, 3].

Второй способ. Для формирования коллективной оценки относительной упорядоченности событий на основе данных проведенной ранжировки и коэффициентов компетентности экспертов:

w_i – весовой коэффициент i -того показателя, равный:

$$w_i = R_i / \sum_{i=1}^n R_i, \quad (6)$$

где

$$R_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} v_j \quad (7)$$

Здесь в числителе – сумма рангов, проставленная i -тому показателю всеми m - экспертами, а в знаменателе – общая сумма рангов, проставленная m экспертам всем n - показателям (r_{ij} – ранг, проставленный j -м экспертом (с коэффициентом компетентности v_j) i -тому показателю).

Аналогично, как и в первом способе располагая w_i – весовые коэффициенты каждого показателя в порядке их возрастания, получим соответствующие им события a_j , но уже в отличии от первого способа в порядке их возрастания по предпочтительности, то есть:

$$w_1 < w_2 < \dots < w_r \Rightarrow P_r > \dots > P_2 > P_1 \quad (8)$$

В результате найденное отношение порядка между предпочтительностями событий a_j так же будет выражать коллективное мнение группы экспертов [2, 3].

В предлагаемой модели оценки качества управления опрос необходимо проводить анонимно, что бы избежать влияния экспертов друг на друга и взаимного влияния экспертов и должностных лиц органов управления.

Согласие экспертов проверялось после каждого тура опроса через коэффициент согласия (конкордации) по формуле Кэндэла:

$$W = 12S / (m^2 (n^3 - n)), \quad (9)$$

где m – это количество экспертов, n – это количество вопросов в анкете,

$$S = \sum (R_i - \langle R \rangle)^2, \quad (10)$$

$$\langle R \rangle = (\sum R_i) / n, \quad (11)$$

где $\langle R \rangle$ – это средний ранг показателя, R_i – это суммарный ранг i -того показателя анкеты [2, 3].

Если после тура опроса экспертов их согласие (W) было меньше чем установленное должностными лицами (12), проводящими оценку:

$$W < W_{уст.}, \quad (12)$$

то проводился еще тур опроса для повышения согласованности оценок (мнений) экспертов. Если установленное согласие ($W > 0,7$) достигалось (13), то следующий тур не проводился:

$$W \geq W_{уст.}, \quad (13)$$

В рамках предлагаемой модели, в целях оптимизации процесса оценки, при условии, что если количество экспертов $m=11$ формула (1) и количество вопросов в анкете $n=5$, то есть величины m и n , заранее определены и постоянны, то формула Кэндэла (9) приобретает следующий вид:

$$W = 0,000159957 \sum (R_i - (\frac{\sum R_i}{5}))^2, \quad (14)$$

или

$$W = 0,000159957 \bullet S, \quad (15)$$

Соответственно, при $n=3$ и неизменном количестве экспертов $m=11$, имеем: $W = 0,000413223 \bullet S$, (16)

И так далее. Таким образом, для оптимизации расчетов в предлагаемой модели, при условии, что если количество экспертов (m) и количество вопросов в анкете (n) известны, то рационально ввести понятие коэффициента учета постоянных величин для формулы Кэндэла ($q_{w(m;n)}$):

$$q_{w(m;n)} = \frac{12}{m^3(n^3 - n)} \quad (17)$$

Коэффициент учета постоянных величин для формулы Кэндэла ($q_{w(m;n)}$) будет влиять на количественное значение согласованность экспертов. В дальнейшем, на практике, коэффициент ($q_{w(m;n)}$) целесообразно рассчитать для требуемых значений количества экспертов (m) и количества вопросов в анкете (n) и представить в виде таблиц и (или) в виде графиков для каждой применяемой модели оценки качества управления.

Анализ зависимостей ухудшения или улучшения согласованности по различным оцениваемым событиям (вариантам решений), поможет выявить проблемы в процессе управления и принять обоснованные решения по их исправлению. Накопленная информация (информационные резервы системы [1]) позволит, не только оценить качество управления, но и с помощью систематизированного и обобщенного мнения экспертов обоснованно выявить и сформулировать недостатки конкретного процесса управления, предложить обоснованные управленческие решения по их исправлению и в конечном счете повысить качество управления.

Список литературы

1. Алейников, А.А., Билятдинов, К.З., Кривчун, Е.А. Управление техническим обеспечением: методология контроля качества / Научно-технический вестник Поволжья. №6 2016г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2016. – 198 с. ISSN 2079-5920. С. 76 -78.
2. Бешелев, С.Д., Гурвич, Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1980 - 260 с.
3. Черепанов, В.С. Экспертные оценки в педагогических исследованиях. - М.: Педагогика, 1989 - 152с.

05.13.00

Л.В. Антонов, А.Д. Варламов к.т.н.

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Муром, LevAntonov@yandex.ru

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЙ ЖИВОТНЫХ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ДАННЫХ С ДАТЧИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МОЛОЧНОГО ЖИВОТНОВОДСТВА

Работа выполнена при поддержке гранта Росмолодежи. Договор № 6-ТС.

Рассматривается вопрос своевременного выявления проблем в здоровье животных на предприятиях молочного животноводства. Отмечается наличие на подобных предприятиях большого количества сенсоров, установленных на животных и объектах производства, так как при большом поголовье в ручном режиме отследить непредвиденные изменения не представляется возможным.

Ключевые слова: комплексирование данных, выделение признака, мастит, метод наименьших квадратов.

Введение.

Особенности современной технологии молочного производства обусловлены стремлением к достижению оптимального соотношения молочной продуктивности животных и срока их службы для достижения максимальной эффективности работы предприятий. В ходе производственной деятельности животные часто получают различного рода травмы и подвержены множеству заболеваний. Когда стадо включает тысячи голов животных, вручную выявить все случаи заболеваний не представляется возможным. Поэтому предприятия оборудуются различного рода датчиками, информация с которых поступает на пульт мониторинга. В этом случае возникает задача оперативной и точной интерпретации полученных с датчиков данных для автоматической установки текущего статуса животного (здоров / болен).

Одной из самых распространенных незаразных болезней животных, встречающихся на молочных предприятиях, является мастит (скрытый и клинический). Скрытый мастит встречается в 5-10 раз чаще, чем клинический. Мастит является одной из самых распространенных причин массовой выбраковки животных.

Кроме маститов существует ряд заболеваний вымени, отмеченных снижением молочной продуктивности животного. Все эти болезни связаны по большей части с травмами молочной железы: сужение, засорение и раны каналов молокоотдачи, новообразования и молочные камни [1]. Данные проблемы приводят к снижению скорости молокоотдачи (тугодойкости) или наоборот к ее чрезмерному увеличению (легкойдойкости).

Разработка алгоритма автоматической идентификации мастита и тугодойкости / легкойдойкости животных.

В качестве исходных в исследовании были использованы данные по 800 животным с реального животноводческого предприятия. Введем ряд обозначений. Пусть t – среднее количество дней в лактации (примерно 305 дней), n – количество животных предприятия, $\mu_i(t)$ – значение каждого дня наблюдения показателя молокоотдачи, $\eta_i(t)$ – значение каждого дня наблюдения показателя электропроводности, $v_i(t) = \{0,1\}$ – наличие или отсутствие, по мнению эксперта, у животного мастита. В общем виде математическая регрессионная модель будет выглядеть следующим образом:

$$v_i(t) = k_1\mu_i(t) + k_2\eta_i(t), \quad (1)$$

где $i = 1 \dots n$.

Таким образом, для оценки коэффициентов регрессии k_1 и k_2 необходимо найти зависимости между входными и выходным параметрами. Воспользуемся для этого метод наименьших квадратов предварительно применив операции приведения данных. Центрируем и нормируем функцию $\mu_i(t)$ согласно формулам (2) - (5).

$$T(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i(t), \tag{2}$$

$$R_i(t) = \mu_i(t) - T(t), \tag{3}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i(t))^2}, \tag{4}$$

$$\hat{\mu}_i(t) = \frac{R_i(t)}{\sigma}, \tag{5}$$

где $i = 1 \dots n$.

В результате выполненных выше математических операций была получена новая функция молокоотдачи $\hat{\mu}(t)$, которая является приведенной. Выполнив аналогичную процедуру с данными об электропроводности, получим приведенную функцию электропроводности $\hat{\eta}(t)$. Выходной параметр $v(t)$ не нуждается в приведении.

Теперь регрессионная модель (1) принимает следующий вид:

$$v_i(t) = k_1 \hat{\mu}_i(t) + k_2 \hat{\eta}_i(t) + b, \tag{7}$$

где $i = 1 \dots n$,

Далее, применяя метод наименьших квадратов, можно рассчитать значения коэффициентов регрессии и свободного члена уравнения. Итоговый вид уравнения регрессии имеет следующий вид:

$$v_i(t) = -0.0493 \cdot \hat{\mu}_i(t) + 0.1933 \cdot \hat{\eta}_i(t) + 0.1022 \tag{8}$$

Далее рассчитывается порог распознавания (P) исходя из диапазона доверительной вероятности, которую задает зоотехник на предприятии.

Для определения тугодойкости / легкодойкости у животного необходимо рассчитать признак скорости молокоотдачи, исходя из данных об объеме полученного молока и длительности доения животного. Видоизменим предыдущий алгоритм, рассчитав признак скорости молокоотдачи на первом шаге и только потом попользуемся операциями приведения данных, описанных формулами (3) – (6)

Пусть $\mu_i(t)$ – значение каждого дня наблюдения показателя молокоотдачи, $\omega_i(t)$ – длительность процесса забора молока, фиксируемая секундомером, установленным на датчике молокоотдачи.

$$\lambda(t) = \mu(t) / \omega(t) \tag{9}$$

Экспериментальное исследование алгоритма и выводы.

Будем сравнивать работу алгоритма, основанного на комплексном признаке, с алгоритмом идентификации мастита у животных по порогу 6 мСм/см электропроводности молока, описанного в работе [2].

В исследовании обрабатывались данные, полученные для более чем 800 коров в течение приблизительно 305 дней с датчиков измерения двух параметров. Объективные количественные результаты экспериментальных исследований алгоритмов применительно к данным о ежедневных надоях и их электропроводности сведены в таблицы 1, 2.

Исходя из таблиц 1 и 2, можно сделать вывод о том, что алгоритм, основанный на комплексном признаке, осуществляет идентификацию более точно и имеет меньшие показатели ошибок первого и второго рода.

Таблица 1 - Сопоставление выявления больных и здоровых маститом животных алгоритмом по порогу электропроводности молока 6 мСм/см по отношению к мнению эксперта

Процент найденных алгоритмом животных	Среди животных, отнесенных экспертом:	
	к больным, %	к здоровым, %
больных	89,5	9
здоровых	10,5	91

Исходя из таблиц 1 и 2, можно сделать вывод о том, что алгоритм, основанный на комплексном признаке, осуществляет идентификацию более точно и имеет меньшие показатели ошибок первого и второго рода.

Для экспериментального исследования алгоритма определения тугодойкости / легкодойкости животного брались апостериорные экспертные данные. Результаты сравнения работы алгоритма с экспертными оценками приведены в таблицах 3, 4.

Таблица 2 - Сопоставление выявления больных и здоровых маститом животных алгоритмом, основанным на анализе комплексного признака по отношению к мнению эксперта

Процент найденных алгоритмом животных	Среди животных, отнесенных экспертом:	
	к больным, %	к здоровым, %
больных	96	6
здоровых	4	94

Как видно из таблицы 3 алгоритм идентифицировал 6642 проблемных дня, которые эксперт посчитал как дни с затрудненной молокоотдачей животного. Разность между оценкой эксперта и работой алгоритма, основанного на комплексировании признаков составляет в обоих случаях (таблицы 3, 4) 0,5%.

Таблица 3 - Сопоставление выявления тугодойкости животных разработанным алгоритмом по отношению к мнению эксперта

	Найденные алгоритмом случаи возникновения тугодойкости	Найденные экспертом случаи возникновения тугодойкости	Всего
В днях	6642	6092	108750
В процентах	6,1%	5,6%	100%

Таким образом, в работе описаны два алгоритма идентификации болезней вымени животного. Предлагаемые алгоритмы основаны на комплексировании нескольких производственных признаков, что позволяет в значительной степени увеличить точность идентификации заболевших животных. Как показывают экспериментальные результаты, предложенный алгоритм осуществляют более точную идентификацию мастита, чем традиционный подход, описанный в работе [2].

Таблица 4 - Сопоставление выявления легкодойкости животных разработанным алгоритмом по отношению к мнению эксперта

	Найденные алгоритмом случаи возникновения легкодойности	Найденные экспертом случаи возникновения легкодойности	Всего
В днях	4389	3910	108750
В процентах	4%	3,6%	100%

Список литературы

1. Орлов А.А., Антонов Л.В., Макаров К.В. Разработка и экспериментальное исследование алгоритма мониторинга ежедневной активности животного для автоматизированной системы управления молочным хозяйством // Вестник ЧГУ. 2015. №8(69). С. 19-21.
2. Janzekovic, M. Brus, M. Mursec, B. Vinis, P. Stajnko, D. Cus, F. Mastitis detection based on electric conductivity of milk // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 34, 2009, pp .39-46..

05.13.00

¹В.С. Белоус, ²Н.Н. Белоус, ³Н.В. Силенок¹Mail.ru Group,

Москва, belous.vs@yandex.ru

^{2,3}Брянский государственный университет им. И.Г. Петровского,
Новозыбковский филиал, кафедра математики, физики и информатики,
Новозыбков, ²n_belous@inbox.ru ³nvsilenok@yandex.ru

ТЕСТИРОВАНИЕ И ОТЛАДКА УЧЕБНОЙ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В статье представлены результаты разработки учебной операционной системы (ОС), приводится ее архитектура, рассматриваются прикладные программы, использованные в процессе тестирования и отладки.

Ключевые слова: операционная система, архитектура ОС, программы тестирования и отладки.

В рамках выполнения дипломного проектирования была разработана учебная операционная система (ОС), которая предназначалась для использования в курсе «Проектирование операционных систем». Разработанная учебная ОС поддерживает длинный режим, предусмотрена возможность работать с постепенно усложняющимся кодом, что удобно для проведения лабораторных работ.

Как мы уже отмечали «в настоящее время существует множество операционных систем с открытым исходным кодом: GNU Linux, FreeBSD, ReactOS и др. Однако, ядра этих операционных систем плохо подходят для учебного процесса, т.к. они имеют большой объем исходного кода и обладают высокой сложностью»[1]. По этой причине были разработаны несколько учебных операционных систем: JOS, xv6 и PhantomEx. Ядра этих ОС имеют небольшой объем исходного кода по сравнению с эксплуатируемыми ОС, однако не поддерживают длинный режим, что делает разработку новой учебной ОС под современную архитектуру актуальной задачей.

Структура разработанной ОС была спроектирована таким образом, чтобы обеспечить возможность работы с постепенно усложняющимися версиями ядра. При этом минимально необходимый набор модулей состоит из одного загрузчика и модуля работы с диском. Поскольку размер первого загрузчика ограничен 510 байтами, было решено для загрузки ОС использовать два загрузчика.

Первый открывает линию A20, определяет доступные физические области, используя прерывания BIOS, переходит в защищенный режим, загружает и передает управление второму загрузчику.

Второй загрузчик, определяет доступный объем физической памяти, используя информацию, полученную первым загрузчиком, подготавливает требуемые для работы ядра отображения и структуры данных: GDT, PML4, массив дескрипторов страниц. Переходит в длинный режим, загружает и передает управление ядру.

Остановимся на вопросе тестирования и отладки. Для тестирования ядра ОС были написаны прикладные программы, которые позволили проверить функции вывода данных на экран, ограничения чтения и записи данных в область ядра и неотображенные области, функции создания и уничтожения процессов и работу вытесняющей многозадачности.

Вывод на экран. Для тестирования вывода на экран используется функция `sys_puts`, принимающая указатель на строку, завершающуюся нулевым символом. В листинге 1 приведен код программы, печатающей на экран сообщение Hello world.

Листинг 1 — Использование функции `sys_puts`

```
1 #include "user/syscall.h"
```

```
2
```

```
3 int main ( void)
```

```
4 {
5 sys_puts ( "He l l o world \n" );
6 return 0 ;
7 }
```

Чтение и запись в различные области. Для проверки ограничений чтения и записи в области ядра и неотображенные области, написаны прикладные программы: `read_kernel`, `read_unmap`, `write_kernel` и `write_unmap`. Которые, соответственно, выполняют чтение из области ядра, чтение из неотображенной области, запись в область ядра, запись в неотображенную область. В результате должно происходить страничное исключение и уничтожение прикладного процесса. В листинге 2 приведен код программы, выполняющей чтение из области ядра.

Листинг 2 — Чтение из области ядра

```
1 #include " us e r / s y s c a l l . h"
2 #include " s t d l i b / s t r i n g . h"
3
4 #define KERNEL_BASE 0xFFFFFFFF800000000
5
6 int main ( void)
7 {
8 char * k e r n e l = ( char *)KERNEL_BASE;
9 char b u f f e r [ 1 0 ];
10
11 sys_puts ( " b e f o r e r e a d \n" );
12 memcpy( b u f f e r , k e r n e l , s i z e o f ( b u f f e r ) );
13 sys_puts ( " a f t e r r e a d " );
14
15 return 0 ;
16 }
```

Добровольное освобождение процессора. Для проверки функции `sys_yield` написана программа `yield`, которая создает дочерний процесс и выводит сообщения на экран в дочернем и в родительском процессах, выполняя системный вызов `YIELD` после вывода сообщения. В листинге 3 приведен фрагменты программы `yield`. В результате выполнения программы сообщение дочернего и родительского процессов должны чередоваться.

Листинг 3 — Использование функции `sys_yield`

```
1 for ( int i = 0 ; i < 1 0 ; i++) {
2 sys_puts ( " b e f o r e y i e l d \n" );
3 sys_yi e l d ( ) ;
4 sys_puts ( " a f t e r y i e l d \n" );
5 }
```

Вытеснение процессов. Для проверки работы вытесняющей многозадачности написана программа `spin`, которая создает дочерний процесс и выводит на экран сообщения в дочернем и в родительском процессах. Фрагмент кода программы приведен в листинге 4. В результате выполнения программы сообщения дочернего и родительского процессов должны чередоваться.

Листинг 4 — Фрагмент кода программы `spin`

```
1 for ( int i = 0 ; i < 1 0 ; i++) {
2 i f ( p i d == 0 ) {
3 sys_puts ( " I ' a m s t i l l a l i v e ( c h i l d ) \n" );
4 } e l s e {
5 sys_puts ( " I ' a m s t i l l a l i v e ( p a r e n t ) \n" );
6 }
7 }
```

```
8 pause ( ) ;  
9 }
```

Для отладки ядра, использовался эмулятор QEMU совместно с отладчиком GDB [2]. GDB позволяет выполнять отладку как на уровне исходных кодов, так и на уровне машинных команд, выводить и изменять значения переменных, регистров и произвольных участков памяти.

Для начала отладки необходимо запустить QEMU в отладочном режиме, для этого необходимо к опциям командной строки добавить: `-s -S`

Далее необходимо подключиться GDB к QEMU. Для этого нужно запустить `gdb` и ввести команду: `target remote localhost:1234`. После этого необходимо задать архитектуру процессора, используя команду `set architecture <требуемая архитектура>` и загрузить отладочные символы: `add-symbol-file <путь к файлу с отладочными символами> <адрес по которому их нужно загрузить>`.

Для упрощения работы с GDB был создан специальный файл: «.gdbinit», в который были добавлены сокращения, для описанных выше команд. Таким образом, чтобы подключиться к QEMU, после запуска GDB достаточно ввести команду `qemu`. В листинге 5 приведено описание команды `qemu`.

Листинг 5 — Реализация команды «qemu»

```
1 d e f i n e qemu  
2 i f $argc != 1  
3 t a r g e t remote l o c a l h o s t : 1 2 3 4  
4 e l s e  
5 t a r g e t remote $arg0  
6 e n d  
7 e n d
```

Отладка загрузчиков. После подключения GDB к QEMU для отладки загрузчиков необходимо выполнить следующие действия:

1. `set architecture i8086` – задать архитектуру процессора x86;
2. `add-symbol-file kernel/boot/bootloader.debug 0x7c00` – загрузить отладочные символы первого отладчика;
3. `add-symbol-file kernel/loader/loader 0x100000` – загрузить отладочные символы второго отладчика;
4. `layout src` – установить режим отладки на уровне исходных кодов;
5. установить точку останова, используя команду `break`;
6. `continue` – продолжить выполнение до точки останова.

В результате GDB остановит выполнение на указанной точке останова, после чего можно использовать все его возможности для отладки и изучения работы ядра. Для упрощения этих действий, в файл «.gdbinit» была добавлена функция `debug-loader`.

Отладка ядра. GDB не позволяет обращаться к памяти за пределами первых 4 гигабайт, пока процессор не перешел в длинный режим. По этой причине нельзя сразу после подключения к QEMU загрузить отладочные символы ядра и установить на одном из них точку останова. Для решения этой проблемы можно поступить следующим образом:

1. В код ядра (например в функцию `kernel_main`) добавить конструкцию вида: `int a = 0; while (a == 0);`. Данная конструкция представляет собой бесконечный цикл, из которого можно выйти, используя отладчик.

2. Запустить QEMU в режиме отладки.

3. Подключиться GDB к QEMU.

4. Ввести команды `qemu` и `continue`.

5. Нажать `Ctrl + C` для возврата командной строки GDB и ввести команду `debug-kernel`. После этого на экране появится код ядра.

6. Для выхода из цикла можно воспользоваться следующей командой: `set variable $a = 1`. После этого можно продолжить отладку ядра.

В данной статье не ставилась цель представить все прикладные программы, написанные для тестирования ядра ОС.

Разработанная учебная ОС имеет следующие свойства: поддержка современной архитектуры процессора, двухэтапная загрузка, страничное управление памятью, поддержка прикладных процессов и потоков ядра, вытесняющая многозадачность, поддержка механизма копирования записей.

Список литературы

1. Белоус В.С., Белоус Н.Н. Учебная операционная система. Обзор типов ядер операционных систем// Экономика и социум. 2016. № 9(28), С.528-530.
2. Advanced Micro Devices. — AMD64 Architecture Programmer's Manual. Volume 2: System Programming, 2015.
3. GDB: The GNU Project Debugger. – <https://www.gnu.org/software/gdb>

05.13.01

А.П. Буйносов д.т.н.

Уральский государственный университет путей сообщения,
Кафедра «Электрическая тяга»,
Екатеринбург, buinosov@mail.ru

МОДЕЛЬ МНОГОФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ

В статье описана разработанная модель многофакторного анализа выбора наиболее эффективных методов повышения ресурса бандажей колесных пар электровозов.

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, ресурс, повышение, эффект, метод, выбор, многофакторный, анализ, модель.

Ресурс бандажей колесных пар является одним из сдерживающих факторов при установке межремонтных пробегов – не увеличив ресурс бандажей, невозможно продлить межремонтный период между ремонтами. В процессе движения возникает как адгезивный, так и абразивный боковой износ гребней колес [1, 2]. Механизм износа бандажей объясняется воздействием двух одновременно, протекающих процессов: смятия металла, сопровождающегося пластической деформацией поверхностного слоя от воздействия рельса, и истирания при проскальзывании колеса по рельсу [2, 3].

Проведенные исследования в области повышения ресурса бандажей колесных пар позволяют в той или иной мере судить о воздействии отдельных методов на долговечность бандажей, однако совместно эти методы еще не исследовались. Таким образом, для достижения поставленной цели и решения сопутствующих задач необходимо разработать методику исследования, позволяющую выявить степень влияния каждого из методов на долговечность бандажей колесных пар путем применения модели многофакторного анализа выбора наиболее эффективных методов и выявления потребности конкретного локомотивного депо в применении каждого из методов [3].

Степень влияния методов, действующих на повышение ресурса бандажей колесных пар можно представить в виде функции многих переменных

$$R = F(f, e, h, l, b, d, o, t, k, r, c, j, g, w), \quad (1)$$

где f – выбор наилучшей конфигурации профиля бандажей колесных пар; e – применение современного технологического оборудования в ремонтном процессе; h – упрочнение гребней бандажей колесных пар; l – применение лубрикации; b – применение триботехнического состава НИОД; d – наплавка гребней бандажей; o – обточка бандажей с остаточным прокатом; t – увеличение начальной толщины бандажа; k – климатические условия; r – поддержание в эксплуатации нормируемых параметров верхнего строения пути; c – своевременная замена резинометаллических элементов; j – разворот локомотива; g – подбор диаметров колесных пар; w – подбор поводков по жесткости.

Если по каким-либо причинам эта функция получает достаточно малые случайные приращения f_{Δ} , e_{Δ} , h_{Δ} , l_{Δ} , b_{Δ} , d_{Δ} , o_{Δ} , t_{Δ} , k_{Δ} , r_{Δ} , c_{Δ} , j_{Δ} , g_{Δ} , w_{Δ} – то ее новое значение можно представить в виде ряда Тейлора:

$$\begin{aligned}
R &= F\left(f + f_{\Delta}, e + e_{\Delta}, h + h_{\Delta}, l + l_{\Delta}, b + b_{\Delta}, d + d_{\Delta}, o + o_{\Delta}, t + t_{\Delta}, k + k_{\Delta}, r + r_{\Delta}, c + c_{\Delta}, j + j_{\Delta}, g + g_{\Delta}, w + w_{\Delta}\right) = \\
&= F(f, e, h, l, b, d, o, t, k, r, c, j, g, w) + \frac{\partial F}{\partial f} \cdot f_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial e} \cdot e_{\Delta} + \\
&\quad + \frac{\partial F}{\partial h} \cdot h_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial l} \cdot l_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial b} \cdot b_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial d} \cdot d_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial o} \cdot o_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial t} \cdot t_{\Delta} + \\
&\quad + \frac{\partial F}{\partial k} \cdot k_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial r} \cdot r_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial c} \cdot c_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial j} \cdot j_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial g} \cdot g_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial w} \cdot w_{\Delta} + \\
&\quad + \frac{1}{1 \cdot 2} \cdot \left[\begin{aligned} &\frac{\partial^2 F}{\partial f^2} \cdot f_{\Delta}^2 + \dots + \frac{\partial^2 F}{\partial w^2} \cdot w_{\Delta}^2 + \\ &+ 2 \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial f \cdot \partial e} \cdot f_{\Delta} \cdot e_{\Delta} + \dots + 2 \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial w \cdot \partial g} \cdot w_{\Delta} \cdot g_{\Delta} \end{aligned} \right] + \dots
\end{aligned} \tag{2}$$

Ограничиваясь первой степенью малых приращений переменных, получаем следующее выражение:

$$\begin{aligned}
R &= F\left(f + f_{\Delta}, e + e_{\Delta}, h + h_{\Delta}, l + l_{\Delta}, b + b_{\Delta}, d + d_{\Delta}, o + o_{\Delta}, t + t_{\Delta}, k + k_{\Delta}, r + r_{\Delta}, c + c_{\Delta}, j + j_{\Delta}, g + g_{\Delta}, w + w_{\Delta}\right) = \\
&= F(f, e, h, l, b, d, o, t, k, r, c, j, g, w) + \frac{\partial F}{\partial f} \cdot f_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial e} \cdot e_{\Delta} + \\
&\quad + \frac{\partial F}{\partial h} \cdot h_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial l} \cdot l_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial b} \cdot b_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial d} \cdot d_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial o} \cdot o_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial t} \cdot t_{\Delta} + \\
&\quad + \frac{\partial F}{\partial k} \cdot k_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial r} \cdot r_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial c} \cdot c_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial j} \cdot j_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial g} \cdot g_{\Delta} + \frac{\partial F}{\partial w} \cdot w_{\Delta}.
\end{aligned} \tag{3}$$

Таким образом, учитывая основные методы, направленные на повышение ресурса бандажей колесных пар, можно прогнозировать эффект от внедрения каких-либо методов в комплексе. Оценку эффективности основных методов снижения износа можно произвести, опираясь на ресурс бандажей колесных пар (до и после внедрения) при применении каждого конкретного метода [4].

После сведения расчетных значений в сводную таблицу, необходимо определить эмпирическую функцию, с достаточной степенью точности, описывающей зависимость математического ожидания износа от пробега $\bar{m}_n = f(L)$. Численное значение ресурса исследуемого объекта можно определить исходя из вероятности его безотказной работы в заданный промежуток времени (пробега). Для этого необходимо определить вероятность отказа при пробегах близких к критическим

$$P(L) = \int_{X_{\text{доп}}}^{X_{\text{ном}}} f(x) dx, \tag{4}$$

где $X_{\text{доп}}$, $X_{\text{ном}}$ – допускаемый и номинальный параметры объекта исследования; $f(x)$ – значение функции распределения случайной величины в конкретном диапазоне выборочной совокупности.

Для заключительного этапа моделирования необходимо определить значение первоначальной функции многих переменных (1). Для этого были отобраны несколько методов, которые могут быть применены в условиях депо.

$$\begin{aligned}
R &= F(f + f_{\Delta}, h + h_{\Delta}, c + c_{\Delta}, t + t_{\Delta}, d + d_{\Delta}, b + b_{\Delta}) = \\
&= F(f, h, c, t, d, b) + f_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial f} + h_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial h} + c_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial c} + t_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial t} + d_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial d} + b_{\Delta} \cdot \frac{\partial F}{\partial b}.
\end{aligned} \tag{5}$$

В настоящем случае воздействие каждого слагаемого на систему в целом можно определить с помощью функции полных дифференциалов. Определить степень влияния каждого метода можно исходя из условия:

$$R = F(f, h, c, t, d, b) = 1.$$

При представлении приведенного выше выражения в процентном соотношении получаем степень влияния каждого метода. Результаты расчета сведены в таблицу. Долевое распределение при использовании методов повышения долговечности бандажей колесных пар по интенсивности износа приведено на рис. 1.

Таблица. Значения частных производных каждого элемента функции $R = F(x)$

№ метода	Применяемый метод	Значение производной функции, $\Delta_{эфф}/10^{-5}$	Значение производной функции, %	90%-ный ресурс, тыс. км
1	Выбор наилучшей конфигурации профиля бандажей	5,991	13,36	678
2	Упрочнение гребней бандажей	7,080	17,44	668
3	Применение триботехнического состава НИОД	8,298	18,51	660
4	Наплавка гребней	7,821	17,45	638
5	Увеличение начальной толщины бандажа	7,821	17,45	650
6	Своевременная замена резинометаллических элементов	7,821	17,45	688

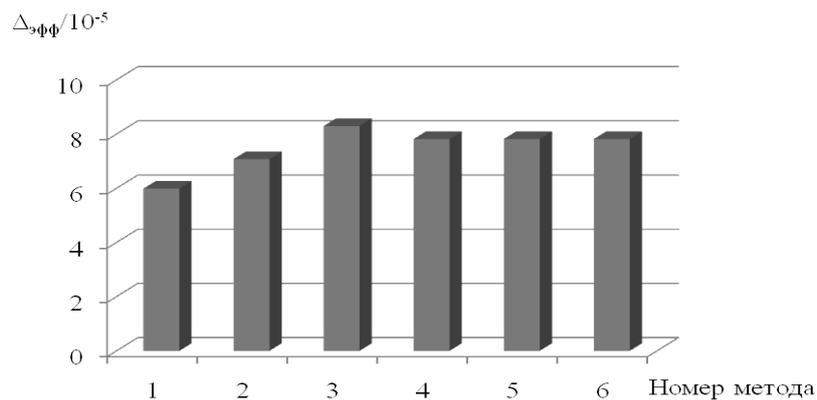


Рис. 1. Долевое распределение производной функции (интенсивности износа) бандажей колесных пар в зависимости от применяемого метода

По результатам расчета ресурса бандажа при использовании рассматриваемых методов построена диаграмма изменения ресурса бандажа в зависимости от применяемых методов снижения износа бандажей (рис. 2).

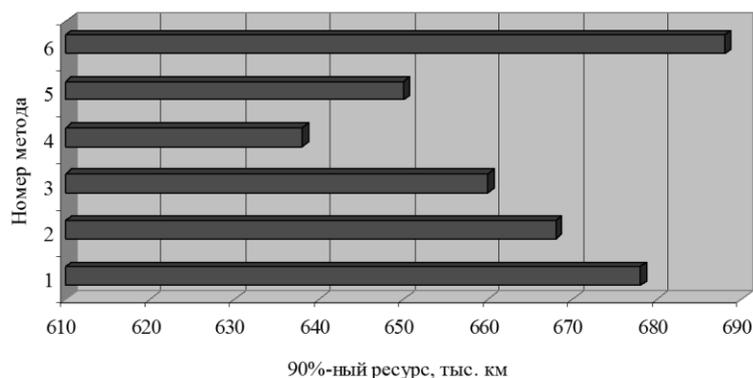


Рис. 2. Диаграмма зависимости ресурса бандажей колесных пар от применяемых методов

Как видно из диаграммы, наибольшую роль в повышении ресурса бандажей играют применение упрочнения гребней бандажей, выбор наилучшей конфигурации профиля бандажей колесных пар и своевременная замена резинометаллических элементов. При сопоставлении диаграмм (рис. 1 и 2) можно сделать вывод: долговечность бандажей в основном зависит от величины периода приработки пары «колесо–рельс» после обточки колесных пар, а не от интенсивности износа, как считается в настоящее время.

Средняя долговечность бандажа при применении предложенных методов в условиях депо составляет:

$$L_{90\% \text{ ср.}} = k_{\text{эф.}} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{L_{90\% \text{ исх.}(i)}}{n} + \sum_{i=1}^n \left[\frac{L_{90\% i} - L_{90\% \text{ исх.}(i)}}{n} \right] \right), \quad (6)$$

где $L_{90\% \text{ исх.}(i)}$ – значение ресурса бандажа до внедрения i -го метода; $L_{90\% i}$ – значение ресурса при применении i -го метода; $k_{\text{эф.}}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность эффективности методов, направленных на повышение долговечности бандажей колесных пар при одновременном воздействии, $k_{\text{эф.}} = 0,9$.

На основе разработанной математической модели многофакторного анализа, используя методы теории вероятности и математической статистики средняя долговечность до смены бандажа при применении предложенных методов в условиях депо составляет 597,3 тыс. км. Таким образом, есть возможность выполнить требование стратегии развития железнодорожного транспорта России о повышении ресурса бандажей колесных пар к 2030 г. до 600 тыс. км.

Список литературы

1. Буйносов А.П. Выбор остаточного проката бандажей при обточке колесных пар электровозов ВЛ11 // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 2. С. 221-228.
2. Буйносов А.П., Тихонов В.А. Аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 2. С. 211-220.
3. Буйносов А.П., Кислицын А.М. Измерительная система для контроля параметров колесных пар локомотивов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2013. № 11. С. 44-51.
4. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения. Екатеринбург: УрГУПС, 2009. 224 с.

05.13.00

Д.Р. Григорьева, Г.А. Гареева, А.Ю. Ишимова

Набережночелнинский институт Казанского федерального университета,
экономическое отделение,
кафедра бизнес-информатики и математических методов в экономике,
г. Набережные Челны, d.r.grigoreva@mail.ru shakirof@mail.ru alenka20-04-92@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДАХ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА ЦЕН НА ПОЛИМЕРНУЮ ПРОДУКЦИЮ

Данная статья посвящена использованию компьютерных технологий в статистических методах на примере анализа цен на полимерную продукцию. Проведен статистический анализ в пакете Statistica на основе имеющихся данных.

Ключевые слова: *компьютерные технологии, программный продукт, статистический анализ, полимерная продукция.*

Широкое внедрение компьютерной техники во все сферы деятельности организаций и предприятий создает предпосылки для активного применения компьютерных технологий при использовании статистических методов.

Возможности компьютеров в обработке больших объемов информации сделали доступными для пользователей самые современные методы статистического анализа. В настоящее время разработано большое количество статистических пакетов программ. Среди универсальных систем статистического анализа данных широкое распространение получил статистический пакет Statistica. [1]

Пакет прикладных программ Statistica - это универсальная интегрированная система, предназначенная для статистического анализа и обработки данных. Содержит многофункциональную систему для работы с данными, широкий набор статистических модулей, в которых собраны группы логически связанных между собой статистических процедур, специальный инструментарий для подготовки отчетов, мощную графическую систему для визуализации данных, систему обмена данными с другими Windows-приложениями. [2]

В данной работе рассмотрены методы прогнозирования с использованием пакета Statistica и выявлено, какой из них наиболее эффективный и дает более точные прогнозы.

Объект исследования – рынок полимерных пленок в РФ. Предметом исследования является применение компьютерных технологий при использовании статистических методов анализа и прогнозирования цены и объемов производства полимерной пленки.

Цель данного исследования - анализ рынка полимерной пленки, применяя пакет Statistica. Теоретической базой работы послужили труды таких авторов как: Боровиков В.П., Елисеева И.И., Орлова И.В. и др.

В работе реализованы метод экспоненциального сглаживания и нейросетевые методы системного анализа. На базе ежемесячных данных в период с января 2012 года по декабрь 2016 года по объемам производства построен прогноз на год вперед, т.е. до декабря 2017 года. Для этого воспользуемся методом экспоненциального сглаживания.

Для предварительного анализа ряда – визуализируем его.

По рисунку видно, что временной ряд содержит тренд, однако делать выводы о наличии сезонности по данному графику сложно. Кроме того, видно, что модель в нашем случае не является аддитивной, т.к. амплитуда колебаний разная.

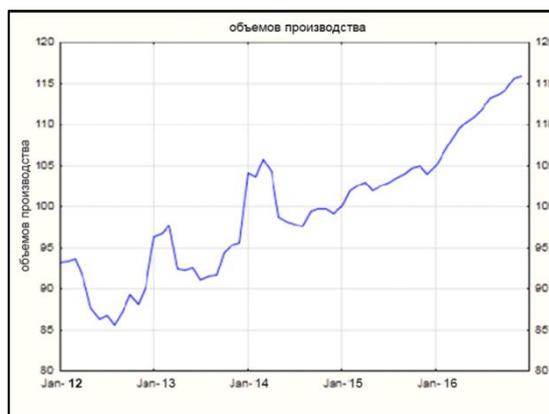


Рис. 1 – Исходный ряд объемов продаж (тыс.тонн)

В результате экспоненциального сглаживания были получены и заданы параметры Alpha, и Gamma. Ряд остатков является стационарным, что говорит об адекватности построенной модели. Довольно высокое качество прогноза и модели подтверждает средняя абсолютная ошибка, которая составляет примерно 5,79 %. Визуализируем результаты прогноза на ближайшие 12 месяцев в виде графика (рисунок 2).

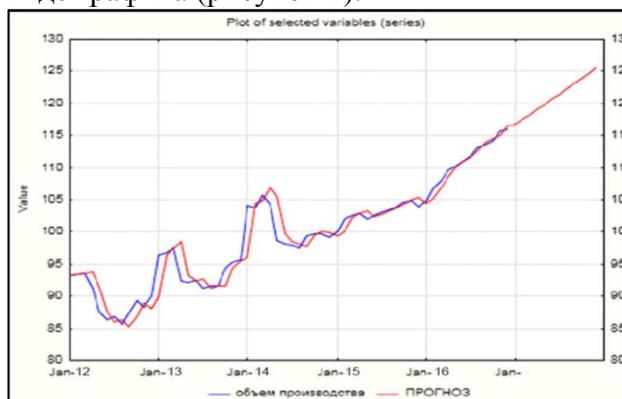


Рис. 2 – График прогноза исходного ряда

Согласно построенному прогнозу, в ближайшее время объемы производства продолжат расти, и к декабрю 2017 года составят свыше 125 тыс. тонн.

Спрогнозируем объёмы производства на основании исходных данных с применением нейронных сетей. Построим нейронные сети с использованием 60 наблюдений, последние 12 уровней ряда будем использовать для кросс-проверки. Обучаем несколько сетей и сохраняем 5 лучших. Все сети показали практически одинаковые производительности.

Рассмотрев гистограммы распределения остатков и диаграммы рассеивания сетей можно сказать, что все сети имеют приблизительно нормальное распределение остатков, т.е. все они качественны. Для того чтобы оценить точность сетей, рассмотрим график, на котором изображён исходный ряд и спрогнозированные ряды – рисунок 3. [3]

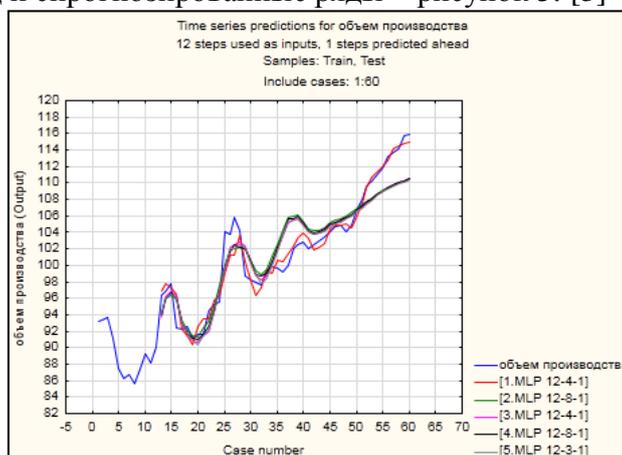


Рис. 3 – Спрогнозированные ряды

Линии, относящиеся к разным сетям, очень близко расположены друг к другу, что говорит о практически идентичном качестве моделей. Поэтому выберем сеть, показавшую наилучшую производительность (сеть 1), она наиболее близка к исходному ряду и проанализируем её качество посредством сравнения предсказанных ею значений с наблюдениями, оставленными для кросс-проверки. Для этого построим проекцию ряда с 1 значения по 60. Модель даёт достаточно хороший по качеству прогноз. Для более точного измерения качества прогноза вычислим среднюю абсолютную ошибку, она равна 0,024793.

Согласно полученному прогнозу, объемы производства полимерной пленки сохранят тенденцию к росту и наивысший пик будет достигнут в декабре 2017 года, когда объемы производства составят более 120 тыс. тонн (рис. 4).

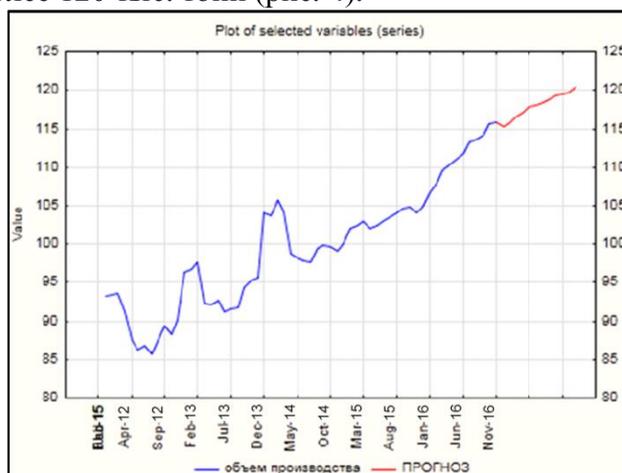


Рис. 4– График прогноза

Сравнивая результаты применения двух методов – нейронных сетей и экспоненциального сглаживания, следует, что оба метода предсказывают тенденцию роста объемов производства, а наибольший их объём придется на декабрь 2017 года. [4] Однако, в ходе прогнозирования методом экспоненциального сглаживания, модель показала, что в декабре 2017 года объем производства составит чуть более 125 тысяч тонн, что на 5 тыс. тонн больше, чем показала выбранная нейросетевая модель. При этом в ходе метода экспоненциального сглаживания показала большую ошибку (5,49%) на кросс-проверке, чем модель, полученная в ходе применения нейронных сетей (2,47%).

Однако по мере поступления новых данных необходимо корректировать исследуемые функции с целью получения более верного прогноза.

Благодаря развитию компьютерных технологий для исследований в различных сферах науки и техники, экономики и производства имеются доступные научные и статистические пакеты программ, удовлетворяющие различные потребности пользователей.

Список литературы

1. Боровиков В.П. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компьютере: учеб.пособие / В.П. Боровиков, Г.И. Ивченко. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 384 с.: ил.
2. Клеопатров Д.И., Френкель А.А. Прогнозирование экономических показателей с помощью метода простого экспоненциального сглаживания. – Статистический анализ экономических временных рядов и прогнозирование. – М.: Наука, 1973. –298с.
3. Елисеева И.И. Статистика: учеб. / И.И. Елисеева [и др.]; под ред. И.И. Елисеевой. – М.: Проспект, 2010. – 448 с.
4. Григорьева Д.Р. Статистические методы анализа и прогнозирования надежности коммерческого банка / Г.А.Гареева, Д.М. Лысанов – В мире научных открытий.- Красноярск: научно-инновационный центр, 2015, №2(62). - С.479-493.

05.13.11

Т.А. Деменкова, С.М. КоваленкоМосковский технологический университет (МИРЭА)
Москва, demenkova@mirea.ru, kovalenko@mirea.ru**МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СИМУЛЯЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

В работе рассматривается актуальная проблема в области разработки дистанционных систем обучения на основе современных технологий. Выполнен анализ существующих решений на базе нескольких поколений разработанных программных средств. Предложено решение для реализации симуляционного проектирования с использованием портативной кейсовой аппаратуры. Реализована методика построения систем нового поколения для дисциплин, связанных с проектированием на программируемых логических интегральных схемах.

Ключевые слова: *программные средства обучения, симуляционное проектирование, портативная кейсовая аппаратура, программируемые логические интегральные схемы.*

В настоящее время задача создания программных средств для обучения проектированию цифровых устройств на основе современной элементной базы остается весьма актуальной [1,2,3]. Это связано с постоянно развивающимся рынком интегральных микросхем, в частности, программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), которые вносят новые подходы в сам процесс проектирования. В работе представлены результаты исследований, которые проводились в Московском технологическом университете (МИРЭА) на протяжении последних лет, и касаются разработки программных средств для реализации симуляционного проектирования.

Разработанные программные средства построены по модульному принципу, то есть состоят из отдельных частей, которые используются по мере необходимости. Модульная организация значительно снижает нагрузку на сеть и позволяет загружать только одну требуемую задачу. Первое достигается за счет значительного уменьшения объема загружаемой информации: загружает один модуль, а не всю программа. Второе же тесно связано с первым, так как один модуль представляет собой одну задачу (набор однотипных задач с разными условиями).

Каждый модуль программы представляет собой отдельную задачу или часть задачи, имеет свой собственный прелоадер, режимы работы, всю необходимую информацию. Некоторые модули, по мере необходимости, могут устанавливать соединения – локальные связи с другими модулями.

Существуют два способа загрузки внешних модулей (рис. 1):

1. Загрузка в тот же уровень где расположен текущий модуль, как правило это уровень ноль. При такой загрузке загружаемый модуль полностью замещает модуль, из которого производилась загрузка, то есть содержимое первого модуля полностью уничтожается и вместо него загружается второй модуль. Также в этом случае теряются все переменные, инициализированные в первом модуле, следовательно, такой метод загрузки нельзя использовать при создании локальных связей между модулями. Этот способ загрузки применяется, когда первый модуль отработал свою функцию, из него не надо передавать информацию в другие модули или браузер и в дальнейшем не потребуется повторная загрузка этого модуля.

2. Загрузка нового модуля в другой уровень, отличный от уровня модуля, инициирующего процесс загрузки. При использовании этого метода загрузки модуль, инициирующий процесс загрузки, не уничтожается, следовательно, сохраняются и все вычисленные и сформировавшиеся в процессе работы модуля переменные. Эти переменные можно передавать во внешние модули и браузер с помощью локальных связей. При загрузке модуля

в новый уровень его номер будет выше, то есть если программа инициирует процесс загрузки из модуля в уровне ноль и загружает новый модуль в уровень один, то новый загруженный модуль просто наложится на предыдущий. Еще одним существенным плюсом такого способа загрузки является то, что любой (кроме модуля инициатора загрузки) ненужный модуль необязательно выгружать, а можно просто спрятать и при повторном обращении к этому модулю не потребуется повторная загрузка.

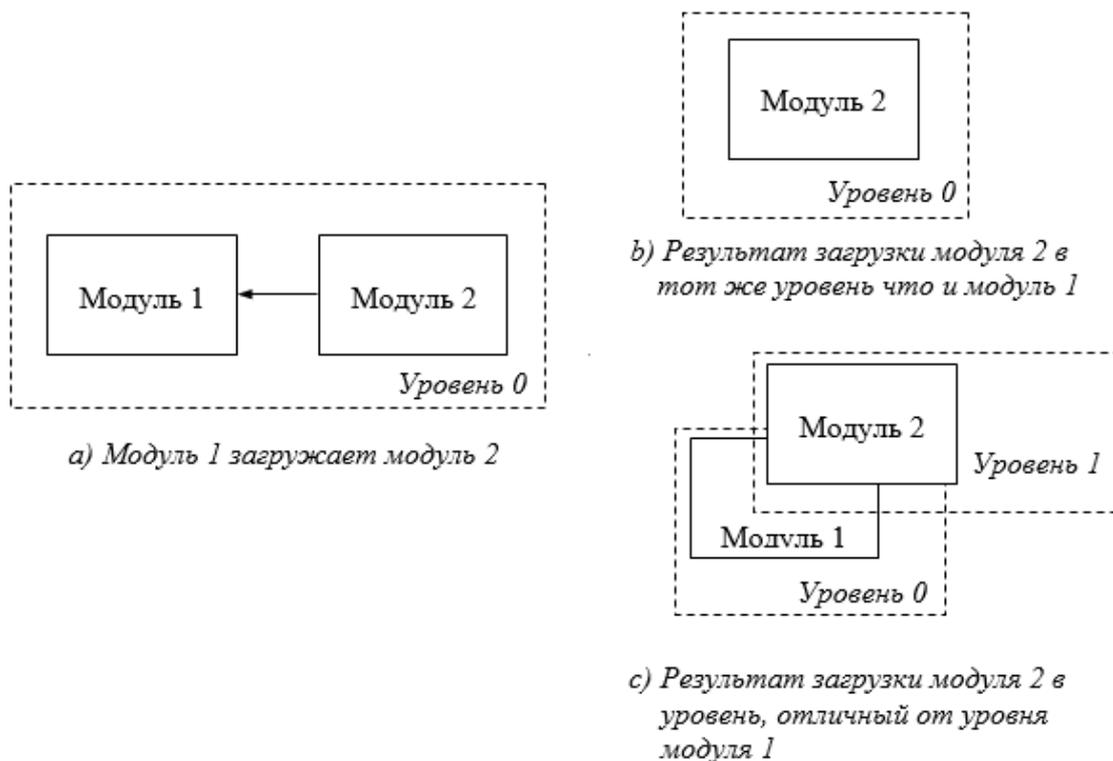


Рис.1. Способы загрузки модулей

В рабочей области программного обеспечения располагаются элементы двух типов: ячейки, в которых нужно размещать блоки структурной схемы, и соединительные элементы, которые представляют собой обычные кнопки. Каждому соединительному элементу соответствует своя переменная. Графически соединительный элемент представляет собой линию толщиной в 1 пиксель. В такую линию попасть довольно трудно, даже не с первого раза. Чтобы упростить процесс попадания по соединительному элементу, он сделан шириной в 11 пикселей. Таким образом, соединительному элементу соответствует скрытая область, по 5 пикселей с каждой стороны от видимой линии соединительного элемента. Попасть в такую область значительно проще, а отображаться будет тот же самый результат – линия толщиной в 1 пиксель. Похожие проблемы возникают и при размещении блока структурной схемы в ячейке рабочей области (рис.2). Если в ячейке рабочей области уже установлен блок структурной схемы и пользователь пытается поместить туда второй, то программа выдает ему сообщение о недопустимом действии и перемещает блок структурной схемы на 20 пикселей выше и на 20 пикселей правее ячейки. Граница рабочей области является геометрическим ограничителем для блоков структурной схемы. Блоки структурной схемы можно свободно перемещать внутри рабочей области, но нельзя вытащить за ее пределы. Границы перемещения блоков установлены в 5 пикселях от границы рабочей области (расстояние между краем блока структурной схемы и границей рабочей области).

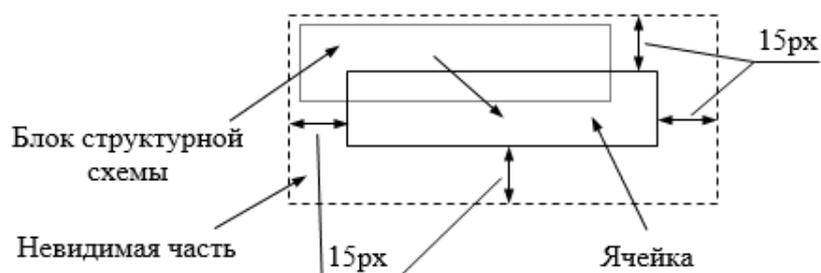


Рис.2. Ячейка рабочей области

Среднюю часть экрана модуля PLA можно разделить на две области: рабочая область, или область задания, и область управления системой помощи пользователю (сообщениями об ошибках) (рис.3). В рабочей области экрана располагается непосредственно задание, которое предлагается выполнить пользователю. В нижней части экрана модуля PLA расположена информационная строка, которая помогает пользователю работать с данным модулем.

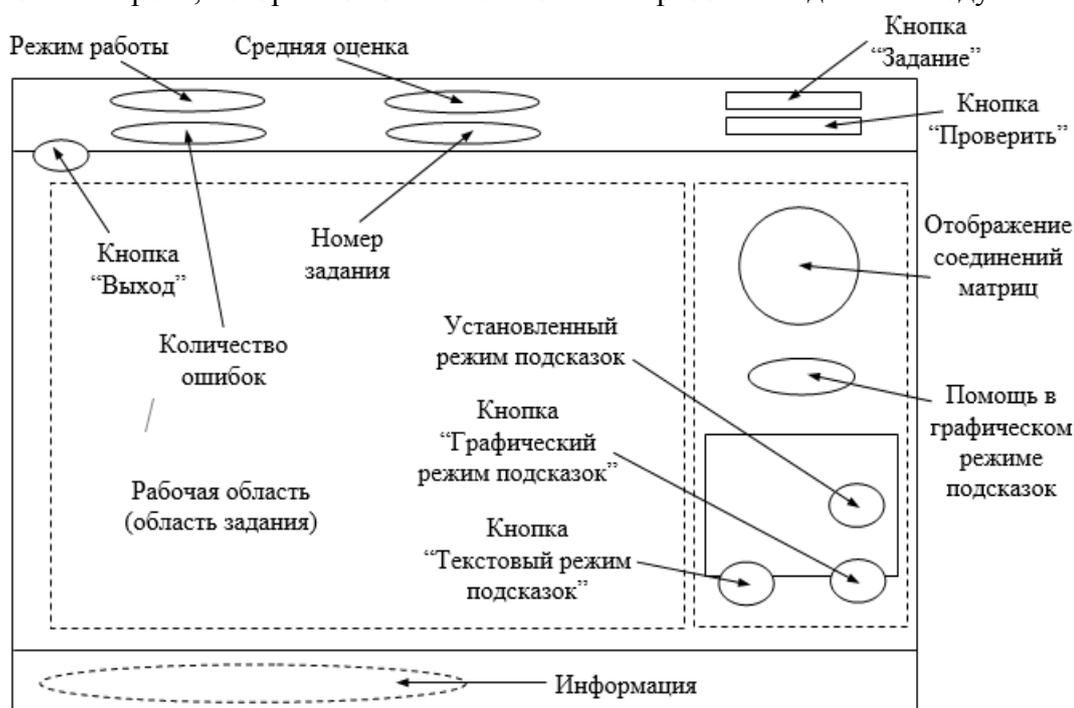


Рис.3. Общий вид модуля PLA

Методика разработки программных средств для реализации симуляционного проектирования включает следующие этапы:

1. Декомпозиция структурной схемы для создания модулей, так как симуляция предполагает пошаговое выполнение конечного задания.

2. Создание прелоадера. У каждого модуля программного комплекса есть свой прелоадер, который необходим при загрузке больших объемов информации или при маленькой скорости передачи данных.

3. Выбор информации для загрузки: загружаемый модуль, состояние загрузки, объем загруженной информации в процентах от общего объема модуля, объем модуля в байтах.

4. Выбор метода передачи данных между модулями.

5. Выбор и реализация механизма проверки.

6. Разработка портативной кейсовой аппаратуры для поддержки дистанционных курсов в области проектирования цифровых устройств.

7. Подготовка небольших показательных примеров, иллюстрирующих ту или иную методологию или технологию программирования на языках описания аппаратуры при проектировании на ПЛИС.

Представленные в работе результаты исследований в части симуляционного подхода могут использоваться для практической реализации программных средств дистанционного обучения по методам проектирования цифровых устройств. Возможности созданной электронной панели структурной схемы позволяют проводить обучение без аппаратуры на начальных этапах проектирования и осуществлять проверку правильности и достоверности полученных результатов [4]. Дополнительно можно вводить специальные методики с применением разработанной портативной кейсовой аппаратуры, что позволит существенно повысить качество обучения.

Исследования проводились в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности за 2017 год.

Список литературы

1. Сухомлин В.А. Международные образовательные стандарты в области информационных технологий // Прикладная информатика. – 2012. - №1(37). - С.33-54.
2. Нечаев В.В., Панченко В.М., Комаров А.И. Межпредметный системообразующий базис организации процесса подготовки специалистов по научным направлениям // Открытое образование. - 2012, - №5. ISSN 1818-4243. С.70-78.
3. Сухомлин В.А., Зубарева Е.В. Куррикулумная стандартизация ИТ-образования на современном этапе // Современные информационные технологии и ИТ-образование. - 2016. - Т.12, №3, ч.1. - С.40-46.
4. Деменкова Т.А. Адаптивная система электронного обучения для подготовки магистров // Современное образование: проблемы взаимосвязи образовательных и профессиональных стандартов. - Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники - 2016. - С.123-124.

05.13.00

Н.А. Костарев, Н.М. Труфанова д.т.н..

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
 Электротехнический факультет,
 Кафедра Конструирование и технологии в электротехнике,
 Пермь, ktei@pstu.ru

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА НАЛОЖЕНИЯ ЛЕНТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

В данной работе была разработана программа для расчета режима обмотки при наложении ленточной изоляции, реализация которой позволит определить все возможные способы наложения изоляции для заданных параметров и выбрать из них оптимальный.

Ключевые слова: радиочастотный кабель, ленточная изоляция, РК-2-213, обмотка лентами.

В кабельной промышленности, как и везде, при производстве изделий огромную роль играет правильность технологического режима. При производстве радиочастотных кабелей особое внимание нужно уделять режиму наложения ленточной изоляции. Необходимо соблюдать заданное перекрытие или зазор при наложении, так как даже малые отклонения при обмотке, при наложении изоляции радиочастотного кабеля, приведут к резкому ухудшению электрических параметров.

В работе рассматривается радиочастотный кабель марки РК 50-2-213. В связи с ужесточением требований предъявляемых к электрическим параметрам кабеля марки РК 50-2-213, возникла необходимость корректировки технологического режима производства. Основное влияние на электрические параметры радиочастотного кабеля оказывает качество изоляции. Особое влияние оказывают свойства используемых материалов, толщина и качество наложения изоляции. В таблице 1 представлена зависимость волнового сопротивления и коэффициента затухания от диаметра по изоляции кабеля РК-50-2-213 на частоте 10 ГГц.

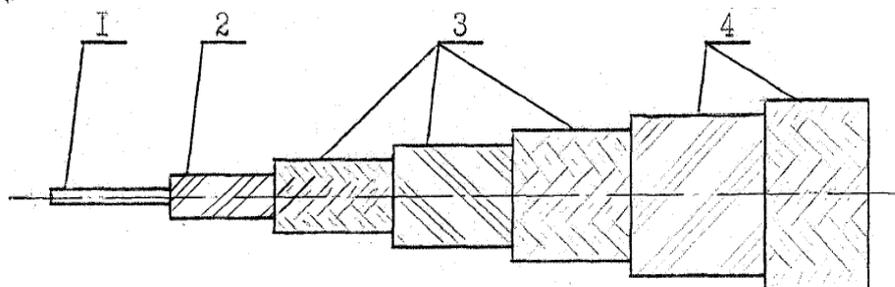


Рис.1. Конструкция радиочастотного кабеля марки РК 50-2-213 где

- 1 – внутренний проводник из девятнадцати медных посеребренных проволок;
- 2 – изоляция сплошная: обмотка из сырой каландрированной пленки из фторопласта-4Д; обмотка из пленок фторопласта-4Д; обмотка из сырой каландрированной пленки из фторопласта-4Д; диаметр по изоляции $2,2^{+0}_{-0,15}$ мм;
- 3 – внешний проводник из двух оплеток: одна из медных посеребренных проволок; вторая из медных проволок;
- 4 – оболочка: обмотка из двух сырых каландрированных пленок фторопласта-4Д; оплетка из фениловых нитей или нитей Русар®-Т

Таблица 1. Зависимость волнового сопротивления и затухания от диаметра по изоляции кабеля РК-50-2-213 на частоте 10 ГГц.

D, mm	$\epsilon=1,8$					
	Z_B, Om	$\text{tg}\delta=2*10^{-5}$	$\text{tg}\delta=5*10^{-5}$	$\text{tg}\delta=1*10^{-4}$	$\text{tg}\delta=2*10^{-4}$	$\text{tg}\delta=6*10^{-4}$
		$\alpha, \text{Дб/м}$				
2,05	49,56	1,89	1,93	1,99	2,11	2,60
2,06	49,78	1,89	1,92	1,98	2,11	2,59
2,07	50,00	1,88	1,91	1,98	2,10	2,59
2,08	50,21	1,87	1,91	1,97	2,09	2,58
2,09	50,43	1,86	1,90	1,96	2,08	2,57
2,1	50,64	1,85	1,89	1,95	2,07	2,56
2,11	50,85	1,85	1,88	1,94	2,07	2,55
2,12	51,07	1,84	1,88	1,94	2,06	2,55
2,13	51,28	1,83	1,87	1,93	2,05	2,54
2,14	51,49	1,82	1,86	1,92	2,04	2,53
2,15	51,69	1,82	1,85	1,91	2,04	2,52
2,16	51,90	1,81	1,85	1,91	2,03	2,52
2,17	52,11	1,80	1,84	1,90	2,02	2,51
2,18	52,31	1,80	1,83	1,89	2,02	2,50
2,19	52,52	1,79	1,83	1,89	2,01	2,50
2,2	52,72	1,78	1,82	1,88	2,00	2,49

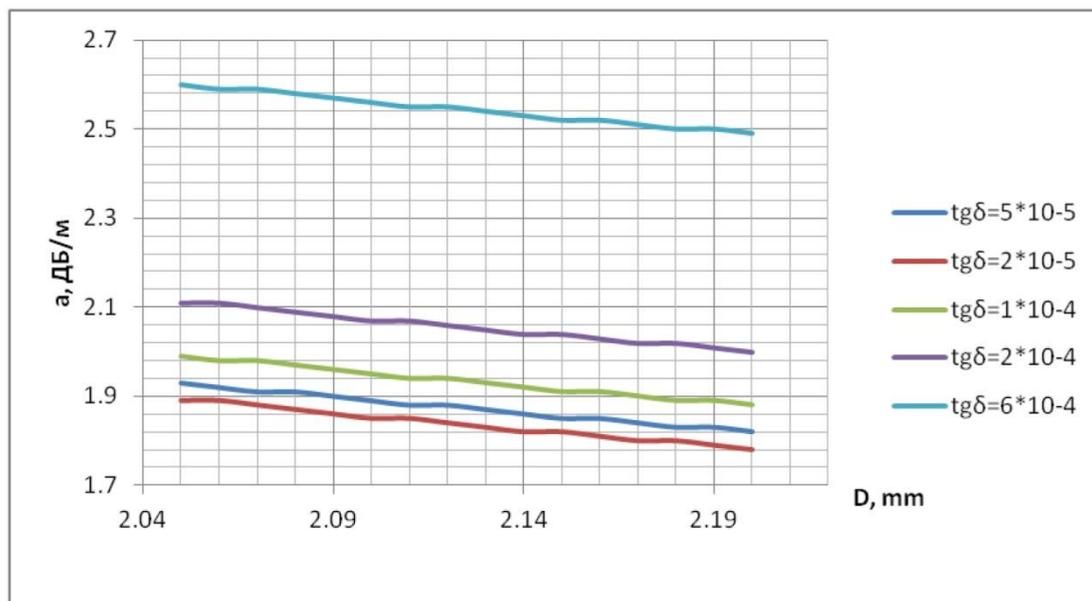


Рис. 2. Зависимость коэффициента затухания от диаметра по изоляции кабеля РК-50-2-213 на частоте 10 ГГц при различном значении тангенса угла диэлектрических потерь.

Из таблицы 1 и рисунка 2 видно, что при увеличении величины тангенса угла диэлектрических потерь на порядок коэффициент затухания возрастает на 30%, а при увеличении толщины изоляции на 10% коэффициент затухания уменьшается на 5%. И в том и другом случае изменение величины коэффициента затухания для радиочастотного кабеля является существенным.

Для обеспечения наложения качественной, однородной изоляции было принято решение накладывать первую ленту с перекрытием 49-50%, а последующие ленты с перекрытием 47%.

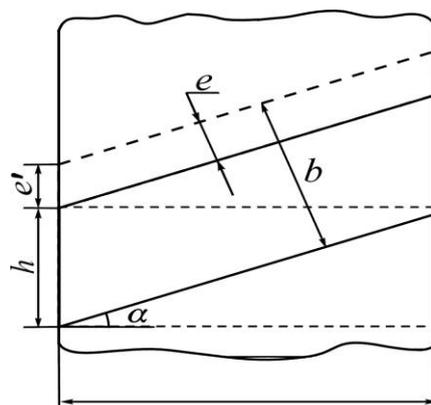


Рис. 3. Развёртка одного витка ленты, наложенной с перекрытием. b – ширина бумажной ленты; e' – перекрытие в осевом направлении; h – шаг обмотки; δ – толщина бумажной ленты; d – диаметр под обмотку; α – угол обмотки; e – перекрытие перпендикулярно кромке ленты.

Значение перекрытия определяется по формуле:

$$e = b - h \cos \alpha, \quad (1)$$

где b – ширина первой ленты, мм;

α – угол обмотки первой ленты;

Угол наложения можно определить по формуле:

$$\alpha = \arctg \frac{h_1}{\pi \cdot (d_s + \delta)}, \quad (2)$$

Для определения всех возможных сочетаний лент и шагов скрутки, дающих необходимую толщину изоляции и перекрытие, была разработана программа на языке программирования Visual Basic.

Полученные данные были проанализированы. В результате были составлены таблицы (2-3) с параметрами обмотки лентами кабеля марки РК 50-2-213.

Таблица 2. Параметры обмотки лентами кабеля марки РК 50-2-213 по тех. процессу.

Диаметр внутр. проводника, мм	Расчетный диаметр по изоляции, мм	Параметры обмотки	Лента 1 СКЛФ-4д	Лента 2 Ф-4ЭО	Лента 3 Ф-4ЭО	Лента 4 Ф-4ЭО	Лента 5 Ф-4ЭО	Лента 6 СКЛФ-4д	Лента 7 СКЛФ-4д
19x0,15=0,75	2,23	Толщина ленты, мм	0,07	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07	0,07
		Ширина ленты, мм	6	6	6	6	6	6	8
		Натяжение, Н	3,0	4,5	1,2	1,5	6,6	1,2	4,0
		Шаг обмотки, мм	4,6	4,6	4,6	4,6	6,3	6,3	5,5
		Перекрытие, %	62	52	48	45	33	47	47

Таблица 3. Параметры обмотки лентами кабеля марки РК 50-2-213 для случая с диаметром по изоляции 2,15 мм.

Диаметр внутр. Проводника, мм	Расчетный диаметр по изоляции, мм	Параметры обмотки	Лента 1 СКЛФ-4д	Лента 2 Ф-4ЭО	Лента 3 Ф-4ЭО	Лента 4 Ф-4ЭО	Лента 5 Ф-4ЭО	Лента 6 СКЛФ-4д
19x0,15=0,75	2,15(по ТУ 2,2 ⁺⁰ _{-0,15})	Толщина ленты, мм	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07
		Ширина ленты, мм	4	5	6	6	6	8
		Угол наложения, град	52	51	51,7	42,7	36,9	43,6
		Шаг обмотки, мм	3,3	4,2	5,1	4,3	4	5,8
		Перекрытие, %	49,2	47,2	47,3	47,4	46,7	47,5

В результате работы была создана программа, которая может использоваться для разработки технологического режима наложения ленточной изоляции. Данное приложение можно использовать для всех типов кабелей и изоляции, а так же для всех типов лентообмотчиков. Разработанное приложение позволяет увидеть все возможные варианты обмотки ленточной изоляцией при заданных параметрах, и выбрать оптимальный режим.

Список литературы

1. Электрические кабели, провода и шнуры. Справочник под ред. Белоруссова Н.М. и др. М.: Энергоатомиздат. 1987.
2. ГОСТ 11326.0-78. Кабели радиочастотные. Общие технические условия.
3. ТУ 16.К76-031-89. Кабель радиочастотный марки РК 50-2-213.
4. Гальперович Д.Я. Радиочастотные кабели / Гальперович Д. Я., Павлов А.А., Хренков Н.Н.. М.: Энергоатомиздат. 1990.
5. Кузнецова Е.А. Сборник задач по курсу «Производство проводов и кабелей», ч.2 – Пермь, ПермПИ, 1972.

05.13.01

Г.И. Лавров к.т.н., И.Г. Лавров к.т.н.ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,
г. Тюмень, lavrov@tsogu.ru**К ВОПРОСУ О ПЕРЕНОСЕ СКВАЖИННЫХ ДАННЫХ НА СЕТКУ ПРИ
ПОСТРОЕНИИ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

Разработана методика, позволяющая снизить погрешности осреднения кривой литологии на сеточную область трехмерной цифровой геологической модели. Она позволяет повысить качество осреднения скважинных данных на сеточную область, снизить трудоемкость корректировки кривой литологии. Предложенная методика апробирована при построении трехмерной геологической модели с фондом скважин более 1000.

Ключевые слова: *трехмерное моделирование, осреднение скважинных данных, алгоритм.*

В настоящее время при составлении проектной документации разработки месторождений нефти и газа используются трехмерные цифровые модели (3D модели). Геолого-гидродинамические модели применяются также при сопровождении бурения скважин, позволяют оценить экономическую эффективность проводимых геолого-технологических мероприятий [1]. 3D модели используются при решении следующих задач:

- подсчет запасов углеводородов,
- планирование (проектирование) скважин,
- оценка неопределенности и рисков,
- подготовка основы для гидродинамического моделирования.

Трехмерное геологическое моделирование состоит из следующих основных этапов [2]:

1. сбор, анализ и подготовка необходимой информации, загрузка данных;
2. структурное моделирование (создание каркаса);
3. создание сетки (3D грида), осреднение (перенос) скважинных данных на сетку;
4. фаціальное (литологическое) моделирование;
5. петрофизическое моделирование [3];
6. подсчет запасов углеводородов.

При некоторых способах построения литологической модели (4 этап геологического моделирования) используется дискретная кривая литологии («коллектор/неколлектор»). [2] При осреднении дискретной кривой литологии в части скважин наблюдаются погрешности в эффективных толщинах между результатами интерпретации геофизических исследований скважин (РИГИС) и трехмерной моделью. Погрешности увеличиваются в скважинах с большой расчлененностью коллекторов, большим количеством тонких глинистых и песчаных пропластков. Контроль эффективных толщин в модуле осреднения скважинных данных на сеточную область не предусмотрен.

Контроль качества осреднения кривой литологии осуществляется следующим образом [4]:

- анализом кросс-плота эффективных и неэффективных нефтенасыщенных толщин в скважинах по ячейкам трехмерной сетки вдоль траекторий скважин и по кривым литологии РИГИС (величина коэффициента корреляции должна быть более 0.95, величина среднеквадратической погрешности – менее 10 %);
- визуализацией значений куба литологии в ячейках трехмерного грида вдоль траекторий скважин совместно с данными геофизических исследований скважин (ГИС) и РИГИС на схемах корреляции. В первую очередь на этих схемах проверяются скважины, которые имеют отклонения на кросс-плоте.

Кроме того, контроль качества осреднения скважинных данных на сетку для кривой литологии проводится [4]:

- сравнением интегральных средних значений величин эффективных толщин и коэффициентов песчаности в скважинах по РИГИС и по осредненным данным;
- сравнением гистограмм и средних значений толщин проницаемых пропластков в скважинах по РИГИС и по осредненным данным;
- сравнением интегральных средних значений величин коэффициента расчлененности в скважинах по РИГИС и по осредненным данным.

Следует отметить, что при уменьшении размера ячеек трехмерной сетки по вертикали погрешности снижаются, однако при этом увеличивается количество ячеек в сетке трехмерной модели, возрастает необходимая мощность вычислительной техники для работы с трехмерной геологической моделью и увеличивается длительность гидродинамических расчетов на этой модели [5]. Поэтому толщины слоев подбираются исходя из условий корректного переноса вертикальной неоднородности разреза в скважинах на сеточную область геологической модели и, в то же время, приемлемых размеров трехмерной сетки. В большинстве случаев, оптимальным считается размерность ячеек по вертикали в диапазоне от 0,2 м до 0,5 м. [6]

Для снижения погрешностей осреднения предлагается использовать алгоритм корректировки осредненной кривой литологии, который описывается ниже. Для выполнения одного из этапов алгоритма требуется специальная программа (в терминах IRAP RMS - скрипт) для построения куба литологии из непрерывного куба песчаности с использованием переменной отсечки по столбцам, которая подбирается так, чтобы карты эффективных и эффективных нефтенасыщенных толщин из результирующего куба литологии максимально соответствовали трендовым картам. [4].

Алгоритм состоит из следующих этапов:

1. построение карт эффективных и эффективных нефтенасыщенных толщин, соответствующих скважинным данным;
2. осреднение непрерывной кривой литологии (песчаности) на сеточную область;
3. построение непрерывного куба песчаности на основе осредненной кривой (этап 2).
4. создание дискретного куба насыщения (ячейкам выше поверхности водонефтяного контакта присваивается индекс 1, ниже – 0) [7];
5. запуск скрипта построения дискретного куба литологии на основе куба песчаности, построенного на этапе 3, и карт эффективных и эффективных нефтенасыщенных толщин;
6. снятие с построения куба дискретной кривой литологии в контейнер с осредненными скважинными данными;
7. сопоставление полученной кривой литологии с исходной, проведение анализа изменений, где необходимо, восстановление исходной кривой литологии;
8. восстановление в скважинах с горизонтальным окончанием исходной осредненной литологии, если эти скважины участвуют в построении куба литологии.

На рисунке 1 в качестве примера показана схема осреднения кривой литологии на сеточную область. Видно, что при толщине ячейки модели 0.4 метра эффективная толщина по кривой РИГИС будет составлять примерно 3.6 метра, по ячейкам трехмерной сетки – 4.4 метра, т.е. на 0.8 метра больше. Эффективная нефтенасыщенная толщина по кривой РИГИС будет равна примерно 2.3 метра, по ячейкам трехмерной сетки – 2.8 метра, т.е. на 0.5 метра больше. После корректировки значений по описанной методике ячейки с наименьшей песчаностью (NTG) 0.6 поменяют значения литологии на 0, в результате чего эффективная толщина по ячейкам модели уменьшится и составит 3.5 метра, а эффективная нефтенасыщенная толщина – 1.9 метра, т.е. погрешности толщины будут минимизированы.

В результате описанных действий погрешности эффективных толщин в осредненных скважинных данных модели существенно снижаются, частично восстанавливаются тонкие глинистые и песчаные пропластки, потерянные в результате стандартной процедуры осреднения кривой литологии. В части скважин осредненная кривая литологии остается без изменения.

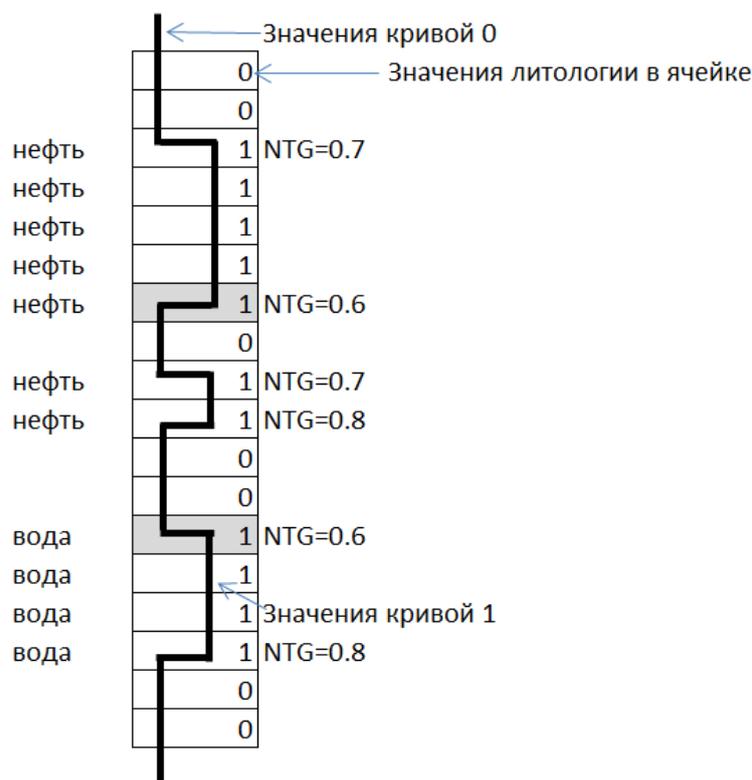


Рисунок 1. Схема осреднения кривой литологии на сеточную область

Разработанный алгоритм был апробирован при построении моделей с фондом скважин более 1000. Он позволяет повысить качество осреднения скважинных данных на сеточную область, снизить трудоемкость корректировки кривой литологии и сократить время построения геологической модели.

Список литературы

1. Грачев С.И., Стрекалов А.В. Опыт в решении задач моделирования и оптимизации разработки месторождений нефти и газа // Вестник ЦКР Роснедра. 2012. №2. – 56-62 с.
2. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. – М.: ООО "ИПЦ "Маска", 2009. - 376 с.
3. Лавров Г.И., Лавров И.Г. Автоматизация построения поверхности водо-нефтяного контакта залежей для трехмерных цифровых геологических моделей // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. №1. – 111-113.
4. Закревский К.Е., Майсюк Д.М., Сыртланов В.Р. Оценка качества 3D моделей. – М.: ООО «ИПЦ Маска», 2008 – 272 стр.
5. Стрикун С.М., Грачев С.И., Майер С.В. Повышение эффективности применения гидродинамического симулятора «Техсхема» при планировании геолого-технических мероприятий // Территория Нефтегаз. 2013. №8. С. 62-66.
6. Рекомендации к методике построения геологических моделей при подсчете запасов углеводородного сырья. – М., ФБУ «ГКЗ», 2014.
7. Лавров Г.И., Лавров И.Г. К вопросу о построении флюидных контактов для трехмерных цифровых геологических моделей // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. №1. – 71-73.

05.13.00

М.Я. Пашаев, М.Ш. Минцаев

Грозненский Государственный Нефтяной Технический Университет
им. акад. М.Д. Миллионщикова, факультет автоматизации и прикладной информатики,
кафедра «Автоматизация и управление»,
г. Грозный, pashaevm@yandex.ru

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗА ПРОЦЕССОМ ОКАЗАНИЯ УСЛУГ ГЛОНАСС ПО ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ

В работе сформированы все необходимые структурные и функциональные схемы, необходимые для реализации предложенной ранее автором концепции использования навигационной системы ГЛОНАСС в транспортной логистике путем разделения навигационной аппаратуры пользователя на антенный блок, которым снабжаются все субъекты и перемещаемые объекты в зоне охраняемого груза, и приемовычислительную часть, размещаемую в локальном сервере, сопровождающем охраняемый груз. Описана общая структура указанной системы, функциональные схемы работы отдельного антенного блока и локального сервера.

Предложенная концепция раскрывает совершенно новые возможности по обеспечению безопасности обработки ценных, опасных и специальных грузов при их обработке в транспортной компании, особенно на этапах перевозки и хранения этих грузов. Основные особенности данной системы по сравнению с существующими заключаются, прежде всего, в том, что предлагаемая концепция использования ГЛОНАСС в транспортной логистике позволяет в автоматическом режиме контролировать процесс возникновения потенциальных угроз безопасности груза и атак превентивно, то есть еще на стадии, предшествующей непосредственно совершению злонамеренных действий. Это существенно затрудняет потенциальному злоумышленнику возможность совершения несанкционированных действий. Другая важная особенность концепции - непрерывность контроля за зоной нахождения обрабатываемого груза в автоматическом режиме.

Ключевые слова: навигационная система, транспортная логистика, навигационная аппаратура пользователя, локальный сервер, функциональная схема, охраняемый груз.

Введение

В работе [1] поставлена задача построения системы контроля процесса обработки грузов в транспортной логистике, позволяющей не только контролировать местонахождение груза, но и обеспечивать его сохранность и защиту от возможных злонамеренных действий. Здесь обработка груза включает, прежде всего, процессы перевозки, хранения, складирования и перемещения груза. Был сформирован состав показателей, обеспечивающих практически полное описание всех факторов, способных оказать влияние на процесс обработки груза. Следующим этапом решения описанной задачи является формирование общей концепции построения и технологии функционирования указанной системы контроля – назовем ее системой контроля сохранности и защищенности груза (СКСЗ).

Напомним, что предлагалось установить навигационный приемник не только на перевозимом грузе, но и на отдельных элементах системы мониторинга процесса обработки груза: снабдить обслуживающий персонал и сопровождающих навигационными приемниками ГЛОНАСС с целью контроля их положения по отношению к контролируемому грузу. Можно также установить навигационные приемники на другие элементы системы мониторинга: отдельные датчики, различные части непосредственно груза с целью контролировать возможные манипуляции, перемещения и развороты груза. Установленные приемники позволят в непрерывном режиме отслеживать изменение всех основных элементов системы, формируя в режиме реального времени полную картину о состоянии

груза и всех сопутствующих ему факторов и объектов, а затем передавать эти данные в систему управления процессом обработки груза. Отметим, что при этом навигационный приемник может быть функционально облегчен до уровня устройства, которое только принимает и фиксирует навигационные сигналы, поступающие от спутников системы ГЛОНАСС, и передает полученные сигналы на локальный сервер (ЛС), где и вычисляются координаты каждого объекта - назовем такой упрощенный навигационный приемник сигналов ГЛОНАСС (УПСГ). Отметим, что ЛС может быть размещен непосредственно на обрабатываемом грузе.

Описанная постановка задачи ранее в открытой литературе не встречалась. Поэтому одним из первых этапов ее решения является формирование концепции построения и общей технологии функционирования системы СКЗ3. Ниже рассматриваются основные компоненты построения СКЗ3.

1. Функциональная схема приемника сигнала ГЛОНАСС и локального сервера

Основными элементами логической и физической структуры СКЗ3 являются навигационный приемник сигналов ГЛОНАСС (ПСГ) и ЛС. Поэтому формирование концепции начнем с построения схемы функциональной структуры этих компонентов системы.

Опишем вначале типовую структуру навигационного приемника. Как указано выше, ПСГ предназначена для определения пространственных координат, вектора скорости, текущего времени и других навигационных параметров на основе приема и обработки радиосигналов от как минимум четырех навигационных спутников (НС), находящихся в зоне радиовидимости аппаратуры. Поэтому ПСГ должен иметь не менее четырех каналов приема радиосигнала, что может осуществляться с помощью пакета антенн либо параллельно сразу по четырем каналам, либо последовательно при наличии одной антенны в пакете, либо частично параллельно при наличии двух антенн в пакете. В соответствии с [2, с. 185], навигационная аппаратура потребителей (НАП) СРНС состоит из двух конструктивно разделенных блоков: антенного блока и приемовычислителя. Предложенная в [1] концепции использования ГЛОНАСС в системе транспортной логистики предполагает наличие мобильных НАП, достаточно легких и малых, чтобы работник, участвующий в обработке груза, мог без каких-либо видимых неудобств и проблем носить его при себе. С этих позиций предлагается отделить антенный блок от приемовычислителя, поместив антенный блок у работника в составе УПСГ а приемовычислитель – в локальном сервере. В этом случае необходимо дополнить УПСГ небольшим передаточным блоком очень малой мощности, способным передать полученный навигационный сигнал на очень небольшое расстояние в ЛС для дальнейшей его обработки – на расстояние не более Z м, Z – максимальная величина радиуса зоны безопасности вокруг перевозимого груза, можно взять $Z = 30$ м.

Однако, в современных НАП между антенным блоком и приемовычислителем имеется определенная логическая связь, что видно из общей функциональной схемы НАП [3, с.484] – приемовычислитель включает аналого-цифровой преобразователь и цифровой вычислитель. Именно, общим элементом является синтезатор частот (см. рис. 1), и необходимо изменить схему рис. 1 так, чтобы этот блок не препятствовал реализации описанной выше идеи отделения антенного блока от приемовычислителя.

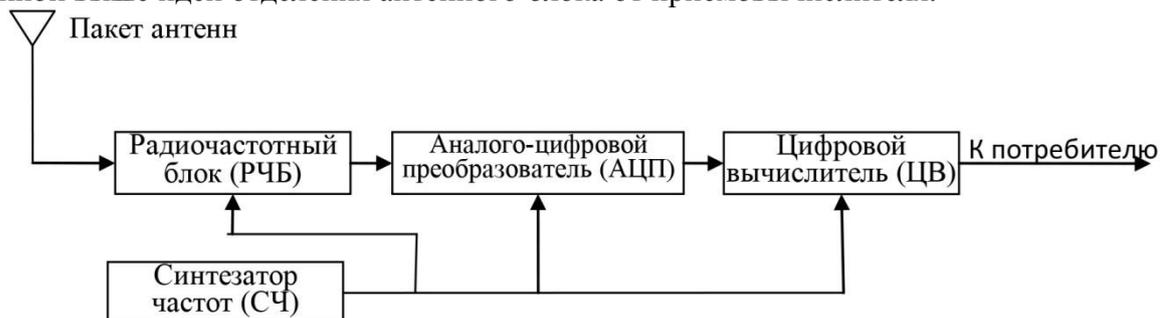


Рис. 1 – Обобщенная функциональная схема НАП

Для разделения этих двух компонентов опишем общую структуру взаимодействия компонентов НАП между собой и с НС. Прежде всего, напомним назначение синтезатора частот. Каждый НС в непрерывном режиме передает свою навигационную информацию в виде некоторого структурированного навигационного сигнала. Это навигационное сообщение передается в виде потока цифровой информации. Форма сигнала, то есть чередование нулей и единиц цифровой информации в навигационном сигнале, выбирается на основе определенной кодовой последовательности, исходя, прежде всего, из корреляционных свойств этой последовательности. Существуют различные кодовые последовательности (дальномерные коды) с хорошими корреляционными свойствами. В СРНС ГЛОНАСС используются М-последовательности [4, 5]. НС излучает (передает) свою оперативную информацию - навигационный радиосигнал (этот радиосигнал и принимается антеннами НАП), которая включает следующие данные: 1) эфемериды НС – координаты и параметры движения НС на текущий момент времени; 2) величину сдвига шкалы времени НС относительно системной шкалы времени; 3) относительное отличие несущей частоты излучаемого радиосигнала от номинального значения; 4) код метки времени, необходимой НАП для синхронизации процесса извлечения ею навигационного сигнала из радиосигнала, поступающего от данного НС.

НАП выбирает совокупность из четырех рабочих НС, находящихся в зоне ее видимости, на основе определенного критерия – обычно критерия минимума суммарного геометрического расстояния до выбранных четырех НС из числа наблюдаемых НС. Учитывается также фактор задержки сигнала на основании хранящегося в памяти НАП аппаратуры альманаха и грубых данных о местоположении всех спутников в текущий момент времени от системы счисления пути или другой навигационной системы. Альманах системы содержит: данные о всех навигационных спутниках на текущий момент – альманах состояний, сдвиг шкалы времени каждого спутника от шкалы времени системы – альманах времени, параметры орбит всех навигационных спутников системы – альманах орбит; поправку к шкале времени относительно Всемирного координатного времени.

После выбора спутников в аппаратуре потребителя вырабатываются опорные коды, аналогичные по структуре дальномерным кодам тех навигационных спутников, прием сигналов которых ожидается потребителем. Поиск этих сигналов основан на нахождении максимума корреляционной функции принятого (с учетом его задержки в процессе движения от навигационного спутника к потребителю) и опорного кода НС. При этом значения корреляционной функции вычисляются с некоторым сдвигом от опорного сигнала данного спутника, где величина сдвига равна $n t_k, t_k$, - шаг дискретизации корреляционной функции, n – номер просматриваемого варианта сдвига сигнала. Именно для формирования вариантов сдвига сигнала и формирования опорного кода и используется синтезатор частот. Его использование во всех трех блоках обобщенной функциональной схемы НАП вызвана тем, что наилучшего варианта опорного сигнала осуществляет в последнем блоке – цифровом вычислителе, но выбор текущего варианта несущей частоты в опорном сигнале и величины его сдвига необходим для частотной селекции (фильтрации) полезных сигналов из смеси с шумами и помехами. Так, при грубом дальномерном коде Голда процедура поиска требует просмотра 1023 вариантов сдвига кода (на t_k) и порядка 10 вариантов несущих частот (при полосе частот 10 кГц и полосе пропускания доплеровского фильтра 1 кГц). Таким образом, синтезатор частот формирует набор гармонических колебаний, необходимых для работы радиочастотного блока, шкалу времени аппаратуры пользователя и тактовые сигналы, синхронизирующие работу аналого-цифрового (АЦП) преобразователя и цифрового вычислителя.

В настоящее время имеется целый ряд различных схем преобразования навигационного сигнала на основе описанной выше схемы. Ниже рассматривается один из вариантов, который наиболее удобен для последующей его модификации в составе УПСГ. Общий алгоритм работы НАП в упрощенном виде представлен на см. рис. 2; здесь использованы обозначения $t_{i,n}$ – время нахождения i -го НС в зоне эффективного приема его сигнала, $t_{i,3}$ –

оценочное время задержки сигнала, T_i – текущее время, начиная с момента выбора i -го НС в навигационного, τ – время последующей обработки сигнала в блоках АЦП и ЦВ до момента доставки к потребителю, δ_i – суммарное время обработки сигналов НС с первого по $(i - 1)$ -ый:

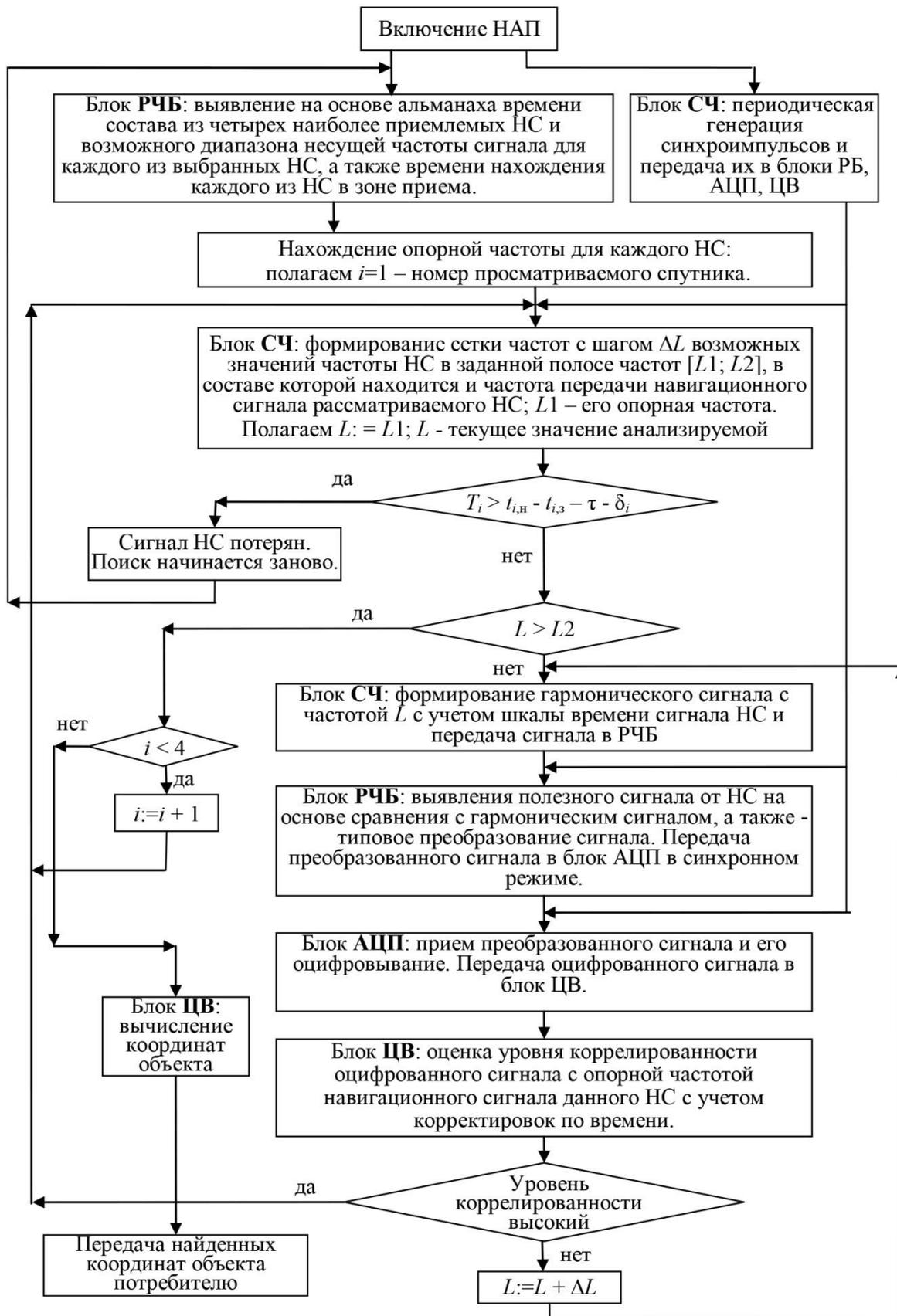


Рис. 2 – Общий алгоритм работы НАП

Схема рис. 2 совместно с анализом содержания функций, выполняемых каждым компонентом НАП, позволяет описать характер взаимодействия синтезатора со всеми другими компонентами НАП, приведенными на рис. 1.

Взаимодействие синтезатора частот с радиочастотным приемником заключается в следующем:

1. Перебирая все возможные значения частоты в заданной полосе частот $[L1; L2]$ с заданным шагом ΔL , на основе опорного генератора формируется сетка частот, в составе которой находится и частота передачи навигационного сигнала рассматриваемого НС. Для ГЛОНАСС обычно $L1 = 1570$ МГц, $L2 = 1620$ МГц, $\Delta L \geq 14$ МГц – полоса частот, занимаемых одним НС ГЛОНАСС.

2. С использованием альманаха времени и рассматриваемого значения частоты возможного навигационного сигнала НС, опорный генератор формирует шкалу времени потребителя для каждого возможного значения навигационного сигнала (то есть для каждого рабочего НС).

3. На основе построенной шкалы времени потребителя и рассматриваемого значения частоты навигационного сигнала в радиочастотный блок подается гармоническое колебание, на основе которого в этом блоке происходит выделение полезного сигнала (предполагаемо поступающего от НС), его типовое преобразование: усиление, частотная селекция (фильтрация) полезного сигнала из смеси с шумами и помехами, понижение несущей частоты принятого сигнала до заданного значения, которое принято называть промежуточной частотой. При выборе промежуточной частоты используется также план частот, который обычно входит в состав синтезатора частот. Взаимодействие синтезатора с блоком аналого-цифрового преобразования и цифровым вычислителем состоит в том, что на основе частотного плана на входе АЦП и ЦВ формируются сигналы тактовой частоты, синхронизирующие их работу. Кроме того, в ЦВ может принято решение и передано указание антенному блоку о прекращении перебора по сетке частот, поскольку в корреляторе, входящем в состав ЦВ, с достаточно высоким уровнем надежности уже выявлена опорная частота НС.

В состав синтезатора входит опорный генератор, который формирует шкалу времени потребителя, а также необходимую сетку частот, используемых в радиочастотном блоке. Частотный план, входящий в состав синтезатора, определяет выбор промежуточных частот приемника, используемых в блоках РЧБ и АЦП, тактовую частоту АЦП и ЦВ, а также некоторые прерывания, связанные с работой конкретных приложений, для которых был разработан данный частотный план.

Описанная выше технология работы синтезатора позволяет следующим образом реализовать идею разделения антенного блока, включающего антенну, РЧБ и синтезатор, от приемовычислителя, включающего АЦП и ЦВ. Синтезатор, который остается в составе антенного блока, реализует весь комплект описанных выше функций, связанных с работой РЧБ. Все данные, исходящие от синтезатора и необходимые для работы приемовычислителя, передает на ЛС, куда перемещается приемовычислитель из НАП пользователя. Последовательность передачи набора указанных сигналов (назовем его поисковым сигналом) следующая: вначале передается идентификатор УПСГ, затем значения тактовой частоты, затем промежуточной частоты, и в завершении сигнал из РЧБ.

Переданный сигнал принимается широкополосной антенной ЛС и передается в соответствующий приемовычислитель. В приемовычислителе вначале формируются тактовые сигналы на частоте, выделенной из полученного сигнала, затем на основе знания значения промежуточной частоты, выделенной из полученного сигнала, осуществляет обработка сигнала РЧБ. В случае, если приемовычислитель выделил несущую частоту НС до окончания перебора всех возможных вариантов, в ПСГ передается сигнал о завершении работы приложения, что приводит к прекращению работы ПСГ по выделению несущей частоты исследуемого НС. Также если промежуточная частота одного УПСГ, на которой передается сигнал от УПСГ к ЛС, оказалось близка к промежуточной частоты другого

УПСГ, то ЛС для лучшего разделения сигналов от разных УПСГ может потребовать от одного из УПСГ заданного изменения сигнала промежуточной частоты.

Таким образом, сформирована общая концепция построения НАП в соответствии с описанной выше целью разделения НАП на УПСГ и приемовычислитель в составе ЛС. Опишем общий алгоритм работы описанной системы.

2. Алгоритм работы системы локализации объекта на основе разработанной технологии

Опишем теперь общий алгоритм взаимодействия всех УПСГ и ЛС учетом того, что приемовычислители со всех НАП, находящихся у лиц и объектов, которые связаны с процессом перевозки грузов, перенесены из НАП в ЛС.

Прежде всего, оценим число лиц, которые либо находятся систематически либо могут оказаться при определенных условиях в зоне непосредственной близости к перевозимому грузу. Прежде всего, это персонал, непосредственно выполняющий погрузочно-разгрузочные работы – не более 10 человек, которые также могут задействовать до 4 ÷ 5 единиц специальной техники для подвоза груза и его перемещения на железнодорожную платформу, в кузов автомобиля, на тележку для перемещения по территории и др. также могут присутствовать несколько человек из состава руководства транспортной компании, владельцев груза, представителей приемной стороны – не более 10 человек. В случае опасных, ответственных или закрытых грузов могут присутствовать представители надзорных, охранных и контролирующих органов, а также представители местных органов управления – не более 20 человек. Могут присутствовать представители прессы – не более 15 человек. Наконец, при возникновении аварийных или чрезвычайных ситуаций в контрольной зоне перевозимого груза могут присутствовать работники МЧС, воинских подразделений или гвардии - не более 20 человек с учетом используемых специальных технических средств. Таким образом, теоретически максимально возможное количество УПСГ, которые могут оказаться в зоне контроля груза не превышает 80 человек, причем эта цифра существенно завышена по сравнению с реальными ситуациями, возникающими при перевозке грузов. Однако, данная оценка позволяет оценить число каналов приема сигнала в антенном блоке ЛС - 100 каналов достаточно.

Схема работы УПСГ и ЛС могут быть получены из схемы работы НАП, приведенной на рис. 2, путем корректного разделения этой схемы на две части и внесения в каждую из частей необходимых дополнительных блоков. Ниже приводится вариант разделения схемы рис. 2 (см. рис. 3 и 4).

На рис. 3 приведена функциональная схема работы УПСГ. Отметим, что поиск ЛС происходит в непрерывном режиме, так что, если субъект даже случайно и кратковременно оказался в зоне приема хотя бы одного ЛС, то параметры его появления будут зафиксированы в этом ЛС.

В качестве новых компонентов, не входивших в состав схемы НАП рис.3, в схеме УПГ имеются блоки, контролирующей связь с ЛС.

В ЛС передается каждая из вариантов навигационного сигнала для каждого из четырех выделенных НС. Если хотя бы одним из них связь установить не удалось (истек допустимый лимит времени), то процесс определения координат УПСГ начинается сначала. Структура передаваемых данных соответствует структуре поискового сигнала, которая была описана выше.

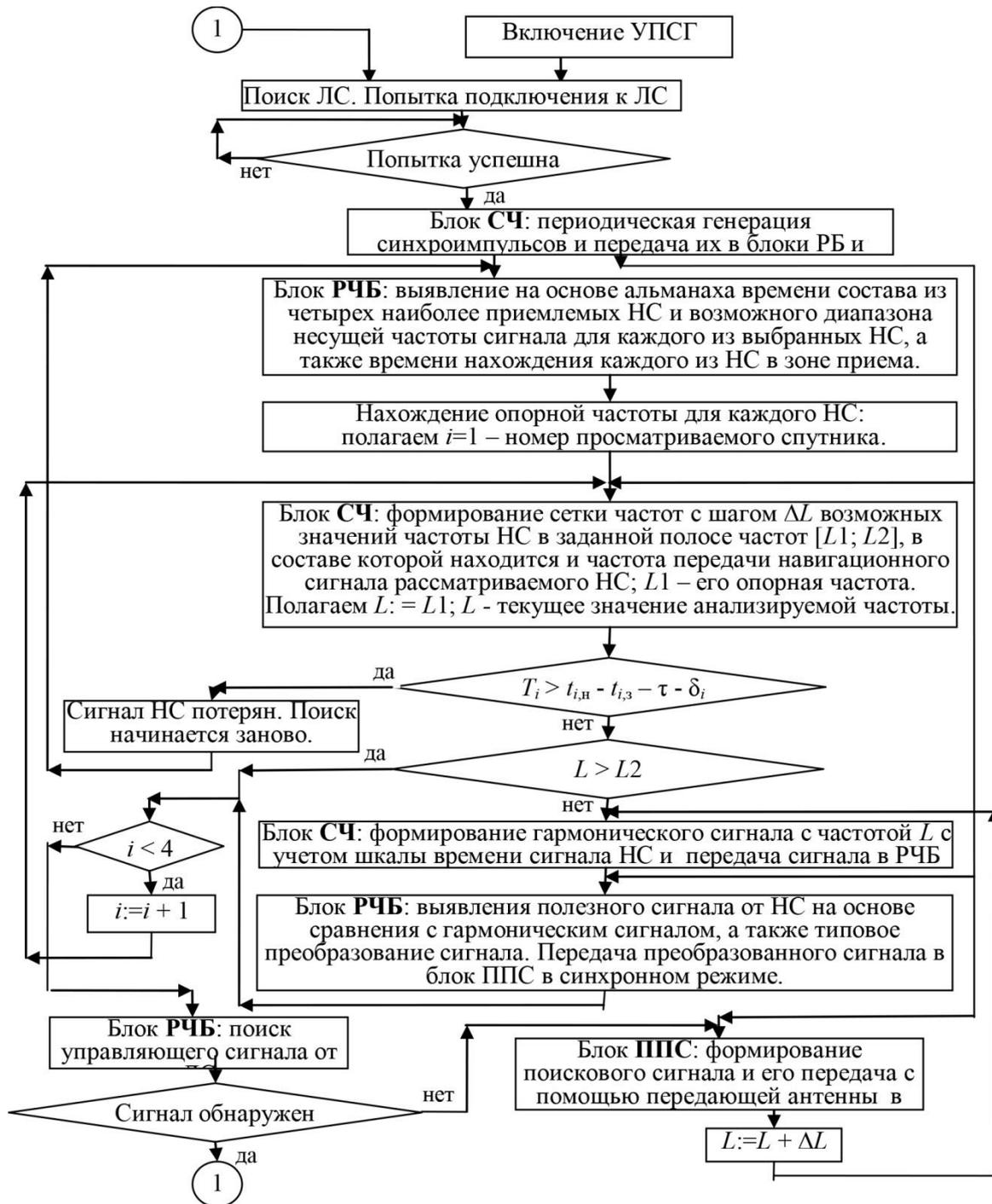


Рис. 3. Функциональная схема работы УПСГ.

Общая схема функционирования ЛС, приведенная на рис. 4, опирается на описанную выше схему взаимодействия УПСГ и ЛС в той ее части, которая соответствует ЛС.

Непосредственно обработка принятого поискового сигнала после его разборки на составляющие и выделения навигационного сигнала происходит в полном соответствии с описанной выше схемой взаимодействия УПСГ и ЛС.

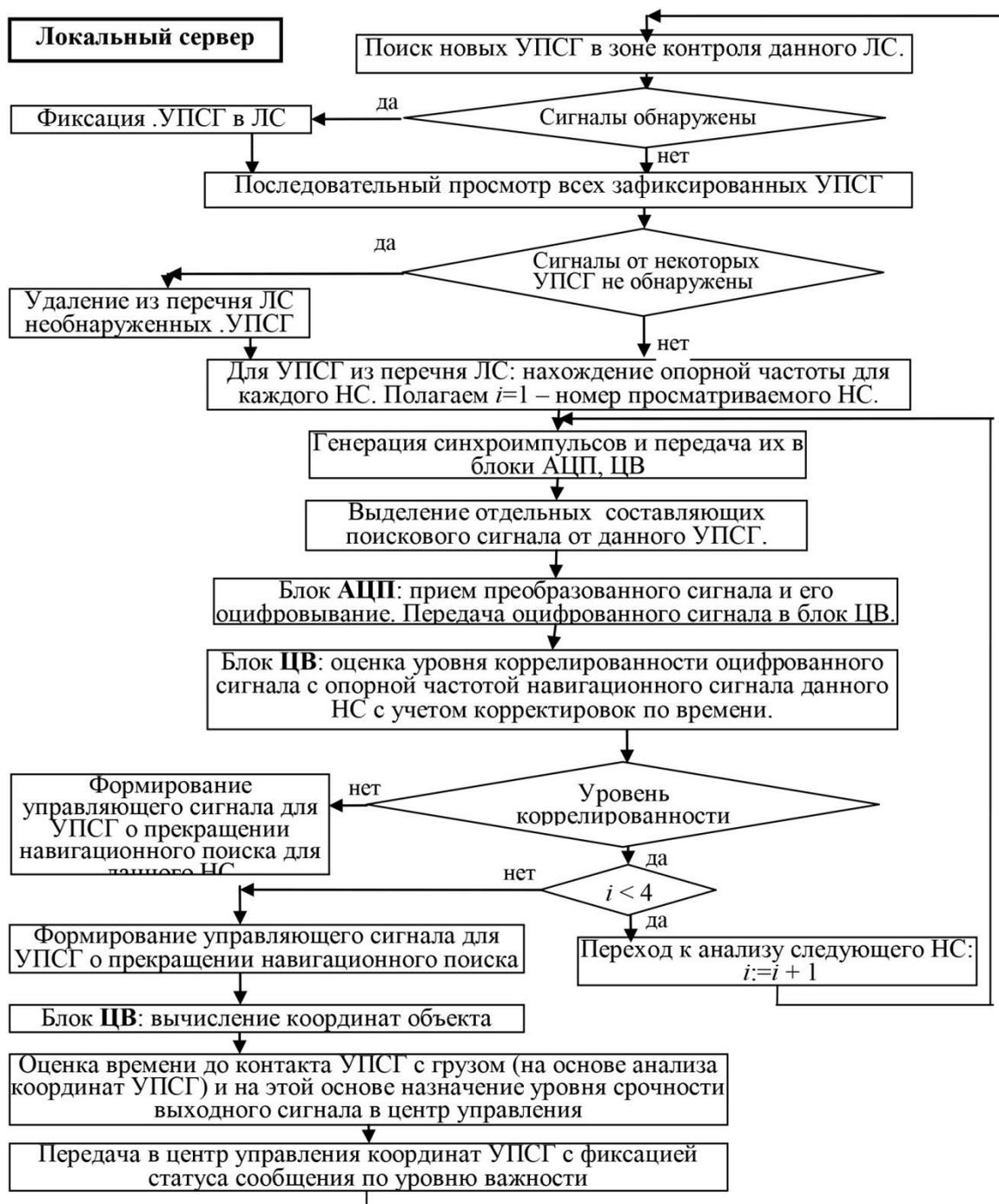


Рис. 4 – Общая схема функционирования ЛС

После определения координат УПСГ проводится анализ направления его перемещения, и в случае его движения непосредственно к грузу, который контролирует ЛС, может быть активизирован тревожный сигнал с целью предотвращения возможного несанкционированного действия со стороны лица, у которого находится данный УПСГ. Непосредственно решению о мерах по препятствованию этому лицу в его попытке добраться до охраняемого груза принимается в центре управления перевозкой грузов, который обычно расположен в офисе транспортной компании, осуществляющей непосредственно обработку данного груза. Отметим, что потеря связи ЛС с центром управления (в том числе и ввиду отказа или злонамеренного уничтожения аппаратуры ЛС) должна вызывать немедленное включение сигнала тревоги, поскольку может быть вызвано злонамеренными целями. Особо следует оговорить возможность появления в зоне контроля лиц, не имеющих УПСГ. Их появление должно контролироваться специальными датчиками (например, инфракрасными

датчиками), и при срабатывании датчиков немедленно должен быть активизирован тревожный сигнал вне зависимости от того, кто оказался в зоне контроля.

Таким образом, общая схема функционирования системы контроля процесса обработки грузов на основе использования средств спутниковой навигации в той ее части, которая связана непосредственно с охраняемым грузом, описана.

Заключение

В работе сформированы все необходимые структурные и функциональные схемы, необходимые для реализации предложенной ранее автором [1] концепции использования навигационной системы ГЛОНАСС в транспортной логистике. Практическая реализация приведенных схем требует проведения достаточно серьезных инженерных разработок.

Предложенная концепция раскрывает совершенно новые возможности по обеспечению безопасности обработки ценных, опасных и специальных грузов при их обработке в транспортной компании, особенно на этапах перевозки и хранения этих грузов.

Список литературы

1. Пашаев М.Я., Минцаев М.Ш. Формирование состава показателей эффективности процесса оказания услуг ГЛОНАСС по транспортной логистике./ Вестник АГТУ, 1916, № 4, с. 19-28.
2. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / Под ред. В.Н.Харисова, А.И.Петрова, В.А.Болдина. М.,ИПРЖР, 1998. – 400 с.
3. ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования / Под ред. А.И.Петрова, В.А. Харисова. – М., Радиотехника, 2010, 800 с.
4. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. — М.: Радио и связь, 1985. - 384 с.
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C-%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C>

05.13.19

¹Я.И. Фальконе, ²О.Ю. Гаценко д.т.н., ³Г.П. Жигулин к.т.н.

¹ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий механики и оптики
Санкт-Петербург, slava.falcone@gmail.com

² Государственная корпорация "Ростехнологии", Открытое акционерное общество
«Научно-исследовательский институт программных средств», Генеральный директор,
Санкт-Петербург, gazenko@nii-ps.ru

³ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий механики и оптики
Заведующий кафедрой МиПИУ,
Санкт-Петербург, ikvo@grv.ifmo.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННЫХ УГРОЗ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

В настоящее время существует множество различных социальных сетей, количество которых постоянно увеличивается. Одновременно наблюдается увеличение числа информационных угроз в социальных сетях. В этой статье поставлена цель разработать классификацию для выделения основных характеристик информационных угроз, направленных на нанесение ущерба информационной безопасности.

Ключевые слова: *Социальные сети, информационная безопасность, классификация угроз.*

Введение

В настоящее время существует множество различных социальных сетей, количество которых постоянно увеличивается. Одновременно наблюдается увеличение числа информационных угроз в социальных сетях. В связи с этим возникает необходимость в классификации основных базовых признаков информационных угроз, направленных на нанесение ущерба информационной безопасности.

Представленная в статье классификация создана на основе морфологического подхода. Для этого были выделены базовые классификационные признаки, к которым относятся: объекты воздействия, преследуемые цели воздействия, методы реализации угроз, источники воздействия и потенциальный ущерб. С помощью совокупности этих факторов формируется уникальная информационная угроза, которая может быть рассмотрена исследователями в каждом отдельном случае – любая угроза может быть идентифицирована как уникальное событие. Кроме того, угрозы можно сформировать в определенные классы и, таким образом, упростить построение компонентов защиты, формируя барьеры защиты для целого класса угроз.

Классификация основных характеристик информационных угроз в социальных сетях

Информационная угроза – совокупность условий и факторов, создающих потенциальную или реально существующую опасность нарушения безопасности информации [1].

Информационные угрозы в социальных сетях можно классифицировать по нескольким базовым признакам:

- Объекты воздействия;
- Преследуемые цели воздействия;
- Методы реализации угроз;
- Источники воздействия;
- Потенциальный ущерб.

Объекты воздействия:

- Пользователи социальной сети;
- Разработчики, администрация и обслуживающий персонал;

- Аппаратное обеспечение (серверы, рабочие станции, сетевое оборудование, каналы связи);
- Программное обеспечение.

Цели воздействия:

- Техничко-информационные (воздействия на программно-аппаратное обеспечение):
 - Нарушение функционирования оборудования;
 - Ограничение доступности канала связи;
 - Нарушение целостности и актуальности данных. Изменение или удаление информации;
 - Нарушение конфиденциальности техническими средствами. Публичное разглашение конфиденциальной информации, сведений, составляющих государственную или иную специально охраняемую законом тайну. Использование персональных данных для финансовых махинаций с различными платежными системами (пароли, информация о банковских счетах и картах и т.д.);
- Социально-информационные (воздействия на пользователей):
 - Информационное воздействие на пользователей с целью размывания культурных и духовных ценностей, подрыва нравственных устоев, исторических основ и патриотических традиций;
 - Информационно-психологическое воздействие, направленное на дестабилизацию внутривнутриполитической и социальной ситуации в различных регионах, приводящее к подрыву суверенитета и нарушению территориальной целостности государства. В эту деятельность могут быть вовлечены религиозные, этнические, правозащитные и иные организации, в том числе общественные, а также отдельные пользователи или группы пользователей;
 - Распространение материалов, содержащих необъективную и предвзятую оценку государственной политики;
 - Информационное воздействие различными террористическими и экстремистскими организациями на индивидуальное, групповое и общественное сознание в целях нагнетания межнациональной и социальной напряженности, разжигания этнической и религиозной ненависти либо вражды, пропаганды экстремистской идеологии, а также привлечения к террористической деятельности новых сторонников [2];
 - Использование социальных сетей в целях совершения уголовно наказуемых деяний, для распространения материалов, содержащих публичные призывы к осуществлению террористической деятельности или публично оправдывающих терроризм, других экстремистских материалов, а также материалов, пропагандирующих порнографию, культ насилия и жестокости, и материалов, содержащих нецензурную лексику;
 - Распространение в социальных сетях сведений о способах, методах разработки, изготовления и использования, местах приобретения наркотических средств, психотропных веществ и их прекурсоров, пропаганда каких-либо преимуществ использования подобных средств, а также распространение иной информации, распространение которой запрещено федеральными законами [3];
 - Нарушение конфиденциальности с помощью социальных воздействий. Получение, использование конфиденциальной информации и персональных данных для финансовых махинаций.

Методы реализации угроз:

- Физические методы воздействия:
 - На оборудование;
 - Системы жизнеобеспечения;
 - Канал связи.
- Программные методы воздействия (могут быть использованы различные средства реализации атаки: генераторы паролей; атаки на отказ в обслуживании: PING-flooding, SYN-flooding, DDoS; сетевой анализ трафика; внедрение деструктивного кода; распространение сетевого вируса; использование недокументированных возможностей программного

обеспечения; сопоставление логов и т.д.):

- На операционную систему;
- Канал связи;
- Протоколы связи;
- Сетевое оборудование;
- Прикладное программное обеспечение.

- Социальные воздействия:

- Социальная инженерия. Пользователь сам, осознанно или нет, передает конфиденциальную информацию под воздействием методов социальной инженерии. Мошенники могут выдавать себя за пользователя из контакт-листа субъекта или за администрацию ресурса и распространять вредоносное программное обеспечение или медиа-контент. К методам социальной инженерии относятся фишинговые и направленные атаки.

- Шантаж и вымогательство;

- Информационное воздействие. Распространение рекламной или деструктивной информации, не соответствующей требованиям законодательства Российской Федерации и направленной на привлечение внимания к объекту рекламирования, формирование или поддержание интереса к нему и его продвижение на рынке без предварительного согласия абонента или адресата на ее получение [2] путем:

- Массовой рассылкой личных сообщений;
- Распространения в новостных лентах пользователей.

Источники воздействия:

- По типу распространения угрозы:

- Опосредованный;
- Непосредственный.

- Пользователи или группы пользователей (в том числе террористические и экстремистские организации);

- Инсайдерские угрозы:

- Обслуживающий персонал;
- Администрация ресурса;
- Разработчики программного обеспечения.

- По способу атаки:

- Распределенные;
- Точечные.

- Источники угрозы во внешнем контуре информационного объекта.

Потенциальный ущерб (например, блокировка работы сети, или потеря пользователей):

- Опосредованный (косвенный) ущерб;
- Непосредственный ущерб (причинение материального, морального, финансового или физического вреда).

Заключение

Разработанная классификация необходима для выделения основных характеристик условий и факторов, направленных на нанесение ущерба информационной безопасности.

С помощью совокупности этих факторов может быть сформирована уникальная информационная угроза, которая может рассматриваться отдельно для каждого конкретного случая и быть идентифицированной как уникальное событие. Угрозы можно сформировать в определенные классы и, таким образом, упростить построение компонентов защиты, формируя барьеры защиты для целого класса угроз.

Список литературы

1. ГОСТ Р 50922-2006.
2. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации (утверждена Указом Президента РФ №646 от 5 декабря 2016 г.)
3. Закон РФ от 27.12.1991 N 2124-1 (ред. от 03.07.2016) "О средствах массовой информации".

АННОТАЦИИ
ABSTRACTSФ.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов
УСТОЙЧИВОСТЬ И ТОЧНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: устойчивость, точность функционирования, синтез управления, метод функций Ляпунова.
Методом функций Ляпунова решены задачи синтеза управления и оптимального управления по принципу обратной связи, обеспечивающих устойчивость и заданную точность функционирования замкнутой системы.

F.D. Bairamov, B.F. Bairamov
STABILITY AND ACCURACY OF FUNCTIONING OF
OPERATED SYSTEMS

Keywords: stability, accuracy of functioning, synthesis of control, method of Lyapunov functions.
Problems of synthesis of control and optimal control by the feedback principle, ensuring stability and given accuracy of functioning of the closed loop system, are solved by the method of Lyapunov functions.

Ф.Д. Байрамов, Б.Ф. Байрамов
УСТОЙЧИВОСТЬ И ТОЧНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ОДНОГО КЛАССА ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: устойчивость, точность функционирования, гибридные системы, метод функций Ляпунова.
Методом функций Ляпунова исследуются устойчивость и точность функционирования одного класса гибридных систем, описываемых линейными дифференциальными уравнениями в обыкновенных и частных производных. Исходные уравнения высокого порядка путём введения дополнительных переменных представляются системой уравнений первого порядка.

F.D. Bairamov, B.F. Bairamov
STABILITY AND ACCURACY OF FUNCTIONING OF
ONE CLASS OF HYBRID SYSTEMS

Keywords: stability, accuracy of functioning, hybrid systems, method of Lyapunov functions.
Stability and accuracy of functioning of one class of hybrid systems, described by linear differential equations in ordinary and partial derivatives, are studied by the method of Lyapunov functions. Original high-order equations are represented system of first-order equations by introducing additional variables.

А.А. Демчук, С.С. Новикова
РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА ОДНОГО КЛАССА СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ С ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ

Ключевые слова: динамические системы, диссипативность, недиссипативность, периодическое воздействие, гистерезисные свойства.
В работе представлены результаты изучения влияния сильных нелинейностей на динамику систем, находящихся под внешним периодическим воздействием резонансной частоты. Устанавливается диссипативность таких систем при малых амплитудах внешнего воздействия и недиссипативность при больших.

A.A. Demchuk, S.S. Novikova
THE RESONANCE PROPERTIES OF A CLASS OF
CONTROL SYSTEMS WITH HYSTERESIS
NONLINEARITIES

Keywords: dynamic system, dissipation, undissipation, periodic influence, hysteresis properties.
This paper presents the results of the study of the influence of strong nonlinearities on the dynamic of the system which are under external periodic influence of resonant frequency. Dissipation of this system is established at small amplitudes of external influence and undissipation is established at large amplitudes.

В.В. Дружинин
АЛГЕБРА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОГРЕССИЙ

Ключевые слова: сумма членов геометрической прогрессии, биномиальный коэффициент, полиномы Бернулли.
Получены новые формулы для действий с суммами геометрических прогрессий. Найдена связь сумм геометрических прогрессии и сумм Бернулли. Указаны приложения.

V.V. Druzhinin
ALGEBRA OF GEOMETRIC PROGRESSIONS

Keywords: sum of the terms of a geometric progression, Beano mainly coefficient polynomials of Bernoulli.
Obtained new formulas for the action with the sums of geometric progressions. The relationship between the sums of geometric progressions and sums of Bernoulli found. Application of the formulas given.

Е.А. Микишанина
ЧИСЛЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТУРОВ ОБВОДНЕНИЯ В
ЗАДАЧАХ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Ключевые слова: численный метод, фильтрация, кривая депрессии.
В работе представлены результаты численного моделирования контуров обводнения (кривых депрессии) плоской пористой области от источника с гладкой выпуклой границей: предложен численный алгоритм определения скоростей фильтрации методом граничных элементов, построены кривые депрессии для круглого и эллиптического источников.

E.A. Mikhshanina
NUMERICAL DEFINITION OF CONTOURS OF
FLOOD IN PROBLEMS OF A NON-STATIONARY
FILTRATION

Keywords: numerical method, filtration, depression curve.
The paper presents the results of numerical simulation contours of irrigation (depression curve) a flat porous region from a source with a smooth convex boundary: a numerical algorithm for determining the velocity filter based on the boundary element method, the curves of depression for circular and elliptical source.

В.Ш. Ройтенберг
О ПРЕДЕЛЬНЫХ ЦИКЛАХ ОДНОГО
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА
НА ОКРУЖНОСТИ

Ключевые слова: дифференциальные уравнения второго порядка на окружности, предельный цикл, бифуркации.
Дифференциальные уравнения второго порядка на окружности, правые части которых полиномы второго порядка относительно первой производной рассматриваются на компактификации цилиндрического фазового пространства. Получены достаточные условия существования единственного предельного цикла. Описаны бифуркации «бесконечно удаленных» предельных циклов.

V.Sh. Roitenberg
ON LIMIT CYCLES OF SAME SECOND ORDER
DIFFERENTIAL EQUATION ON THE CYCLE

Keywords: second order differential equation, limit cycle, bifurcations.
The paper study second order differential equations which right parts are polynomials of second degree relative to the first derivative with periodic coefficients on the compactification of the cylindrical phase space. We obtain sufficient conditions for existence of single limit cycle. We describe bifurcations of infinitely far limit cycles.

М.Ю. Федотова

О СХОДИМОСТИ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ НЕЙМАНА СО СМЕНОЙ ТИПА ГРАНИЧНОГО УСЛОВИЯ НА УЗКОЙ ПОЛОСКЕ

*Ключевые слова: оператор Лапласа; краевая задача; сингулярные возмущения.**В работе рассматриваются вопросы сходимости решений сингулярно – возмущенной краевой задачи Неймана в ограниченной области со сменой граничного условия на узкой полосе.*

M.Yu. Fedotova

ON THE CONVERGENCE OF SOLUTIONS OF NEUMANN PROBLEM WITH SWITCHING OF TYPE OF BOUNDARY CONDITION ON A NARROW STRIP

*Keywords: Laplace operator, boundary – value problem; singular perturbation.**In this paper, we study the convergence of solutions of singularly perturbed boundary-value Neumann problem in bounded domain with switching of type of boundary condition on a narrow strip.*

А.Х. Тазмеев, Р.Н. Тазмеева

ОБ УЧАСТИИ ВОДЯНОГО ПАРА В ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ ПОЛИМЕРОВ В СИНТЕЗ-ГАЗ

*Ключевые слова: газовый разряд, пароводяная плазма, синтез-газ.**Экспериментально исследован процесс конверсии отходов полимеров в потоке пароводяной плазмы, создаваемом жидкоэлектродными генераторами плазмы. Выполнен расчет материального баланса. Выявлены закономерности участия водорода и кислорода, содержащихся в пароводяной плазме, в образовании химических соединений в виде конечных продуктов.*

A.Kh. Tazmееv, R.N. Tazmееva

ABOUT PARTICIPATION OF WATER VAPOR IN THE PLASMOCHEMICAL CONVERSION OF POLYMERS INTO SYNTHESIS GAS

Keywords: gas discharge, steam plasma, synthesis gas. The process of conversion of polymer wastes in the flow of water-steam plasma, which are created by the liquid electrodes plasma generators, was experimentally studied. The material balance was calculated. The regularities of the participating of hydrogen and oxygen which contained in the water-steam plasma, in formation of chemical compounds in the final products were revealed.

М.Н. Баранов, Т.Н. Иванова, Р.Г. Латыпов

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГЛУБИННЫХ НАСОСОВ

*Ключевые слова: электроцентробежный насос, штанговый глубинный насос, механические примеси, причины отказов, средняя наработка на отказ, межремонтный период.**Подъем на земную поверхность жидкости с больших глубин влияет на эффективность работы глубинных насосов. Поэтому для повышения их надежности необходимо осуществлять контроль работы оборудования в скважине, который приводит к снижению износа оборудования, уменьшению количества простоев и в целом повышению работоспособности насосов. В работе проведен анализ совместной работы электроцентробежных и штанговых насосов, выявлены 4 группы факторов, отрицательно влияющих на их работу. Даны рекомендации по снижению причин отказов и мероприятия по увеличению средней наработки на отказ и межремонтного периода.*M.N. Baranov, T.N. Ivanova, R.G. Latypov
A STUDY OF THE EFFICIENCY OF DEEP-WELL PUMPS*Keywords: electric submersible pump, sucker rod pump, mechanical impurities, causes of failure, overhaul period. The rise of the earth's surface liquids from great depths affect the efficiency of the down hole pumps. Therefore, to increase their reliability it is necessary to control the operation of the equipment in the well, which leads to less wear on equipment, reducing downtime and overall efficiency of pumps. In the work the analysis of the joint work of electric submersible and sucker rod pumps, identified 4 groups of factors negatively influencing their work. Recommendations for reducing causes of failures and measures to increase mean time between failure and repair period.*

П.А. Катасонов, Ю.И. Шакиров, И.М. Нуриев, Р.И. Валиев, А.А. Хафизов, Д.С. Мартемьянов

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НЕРАСХОДУЕМЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ИЗ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО МАГНЕТИТА

*Ключевые слова: магнетит; плазменное напыление; адгезия; титан.**Нерасходуемые электроды изготовлены методом плазменного напыления магнетита на титан. Порошок для нанесения покрытий получен плазменно-электролитическим диспергированием углеродистых сталей. Определены зависимости пористости, адгезии, удельного электрического сопротивления и скорости анодного растворения электродов от гранулометрического и химического состава порошка.*

P.A. Katasonov, Yu.I. Shakirov, I.M. Nuriev, R.I. Valiev, A.A. Khafizov, D.S. Martemjanov

PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF THERMAL SPRAY COATINGS MADE OF PLASMACHEMICAL MAGNETITE APPLIED TO NON-CONSUMABLE ELECTRODES

*Keywords: magnetite, plasma spray coating, adhesion; titanium.**Non-consumable electrodes were made by plasma spray coating of magnetite applied to titanium. The powder for spray coating was obtained by plasma-electrolytic atomization of carbon steel. Influence of powder's particle size distribution and chemical composition on porosity, adhesion strength, electrical resistance and durability was determined.*Р.А. Кобзев, И.О. Кудашева, Д.С. Мамаев
ОПТИМИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ КРАНА КОЗЛОВОГО СПЕЦИАЛЬНОГО К100У*Ключевые слова: оптимальное проектирование, металлоемкость, энерговооруженность, себестоимость, эксплуатационные затраты.**В работе поставлена и решена задача оптимального проектирования механизма передвижения специального козлового крана по критериям массы, себестоимости и суммарных затрат.*R.A.Kobzev, I.O. Kudasheva, D.S. Mamaev
OPTIMIZATION OF MECHANISMS MOVEMENT SPECIAL GANTRY CRANE K100U*Keywords: optimum design, metal consumption, power consumption, prime cost, operational expenses.**In article the task of optimum design of mechanisms movement special gantry crane K100U of criteria of weight, prime cost and total expenses is set and solved.*

С.В. Макаров, Д.П. Ильященко, И.Д. Садыков, Е.В. Огудова
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ В
ЖИДКОМ СТЕКЛЕ ПРИ ПОМОЩИ
МЕХАНОКАВИТАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Ключевые слова: ультрадисперсный порошок, структура, распределение, кристаллизация.

В статье рассматривается способ распределения ультрадисперсных порошков в жидком стекле при помощи механокавитационной установки активаторного типа и планетарной шаровой мельницы. Установлено, что при использовании шаровой мельницы приводит к образованию большого числа агломератов, в то время как использование механокавитационной установки позволяет равномерно распределить все ультрадисперсные порошки.

А.П. Буйносов, А.Р. Динисламов
ВЫБОР МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ
ЧАСТИ ЭЛЕКТРОВЗОВ

Ключевые слова: электровоз, механическая часть, деталь, термоупрочнение, неразрушающий контроль, метод, выбор.

В статье рассматриваются различные методы неразрушающего контроля глубины поверхностной закалки механических деталей электровозов. Приведены основные способы повышения достоверности неразрушающего контроля глубины закалки.

Б.С. Лиджиев, Ж.В. Овадыкова, В.П. Очир-Горяев
О СЛОЖЕНИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Ключевые слова: метрология, погрешность, сложение погрешностей, коэффициент корреляции, векторная модель погрешности, символьная модель погрешности.

Рассмотрены трудности, возникающие при решении задачи сложения погрешностей. Предложены две модели. Показано, что погрешности можно представить векторами с учётом разнонаправленности их совместного действия. При этом в случае взаимного влияния погрешностей измеряемых величин коэффициент корреляции равен среднему значению косинуса угла между векторами. Векторная модель погрешностей может быть обобщена и представлена в виде комплексного числа, названного символьной моделью погрешности.

В.Н. Абузаров, В.Н. Елисеев, Е.Н. Чернопрудова
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЯЗИ
МЕЖДУ СЛОЯМИ В КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ

Ключевые слова: температура, теплопроводность, слои композиционного материала, матрица коэффициентов, собственные числа.

В данной статье представлена математическая модель температурной связи между многослойными структурами в композиционном материале. Даны рекомендации по использованию приближенных численных методов обращения в преобразованиях Лапласа.

А.А. Алейников, К.З. Билятдинов
МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: управление, качество, модель, оценка, эксперт, система, оптимизация, коэффициент учета постоянных величин.

Представлен вариант оптимизации процесса оценки качества управления в сложных системах на основе процессного подхода и рационального применения групповых экспертных оценок. В модели описан предлагаемый математический аппарат, введено понятие и формула коэффициента учета постоянных величин для формулы Кэндела. Кратко изложено сущность и содержание применения данной модели на практике для повышения качества управления.

S.V. Makarov, D.P. Ilyaschenko, I.D. Sadikov,
E.V. Ogudova
DISTRIBUTION OF ULTRAFINE POWDERS IN
LIQUID GLASS WITH MECHANICAL CAVITATION
INSTALLATION

Keywords: ultrafine particle, structure, distribution, crystallization.

In the article the method of distribution of ultrafine powders in liquid glass using mechanical cavitation installation activator type and planetary ball mills. Found that by using a ball mill results in the formation of large agglomerates, while use mechanical cavitation installation can evenly distribute all ultrafine powders.

A.P. Buinosov, A.R. Dinislamov
THE CHOICE OF THE METHOD OF
NONDESTRUCTIVE CONTROL OF THE
THERMOSTRENGTHENED DETAILS OF THE
MECHANICAL PART OF ELECTRIC LOCOMOTIVES

Keywords: electric locomotive, mechanical part, detail, thermohardening, nondestructive control, method, choice.

In article various methods of nondestructive control of depth of superficial training of mechanical details of electric locomotives are considered. The main modes of increase in reliability of nondestructive control of depth of training are given.

B.S. Lidzhiyev, Zh.V. Ovadykova, V.P. Ochir-Goryaev
ON ADDING UNCERTAINTIES

Keywords: metrology, uncertainty, adding uncertainties, correlation coefficient, vector uncertainty model, symbolic uncertainty model.

The article deals with solving the problem of adding uncertainties. Two models are introduced. Uncertainties are suggested to be presented as vectors considering the variety of their joint action impact results. In case of interference of measurements uncertainties the correlation coefficient equals the average cosine value of an angle between the vectors. The vector model of uncertainties can be generalized and presented as a complex number, or symbolic uncertainty model.

V.N. Abuzyarov, V.N. Eliseev, E.N. Chernoprudova
MATHEMATICAL MODEL OF THERMAL COUPLING
BETWEEN THE LAYERS IN COMPOSITE
MATERIALS

Keywords: temperature, thermal conductivity, the layers of the composite material, the matrix of coefficients, eigenvalues.

This paper presents a mathematical model of the thermal coupling between the layered structures in the composite material. Recommendations on the use of approximate numerical methods in the treatment of the Laplace transform.

A.A. Aleynikov, K.Z. Bilyatdinov
MODEL EVALUATION OF QUALITY MANAGEMENT

Keywords: management, quality, model evaluation, expert system, optimization, factor accounting constants.

A version of quality management to optimize the evaluation process in complex systems based on the process approach and the rational use of the group of expert assessments. The proposed model describes the mathematical apparatus, and introduced the concept of a formula taking into account the coefficient of constant values for the formula Kendela. Briefly described the nature and content of the application of this model in practice to improve the quality of management.

Л.В. Антонов, А.Д. Варламов
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ
ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЙ ЖИВОТНЫХ НА ОСНОВЕ
КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ДАННЫХ С ДАТЧИКОВ НА
ПРЕДПРИЯТИЯХ МОЛОЧНОГО ЖИВОТНОВОДСТВА

Ключевые слова: комплексирование данных, выделение признака, мастит, метод наименьших квадратов.

Рассматривается вопрос своевременного выявления проблем в здоровье животных на предприятиях молочного животноводства. Отмечается наличие на подобных предприятиях большого количества сенсоров, установленных на животных и объектах производства, так как при большом поголовье в ручном режиме отследить непредвиденные изменения не представляется возможным.

В.С. Белоус, Н.Н. Белоус, Н.В. Силенок
ТЕСТИРОВАНИЕ И ОТЛАДКА УЧЕБНОЙ ОПЕРАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ

Ключевые слова: операционная система, архитектура ОС, программы тестирования и отладки.

В статье представлены результаты разработки учебной операционной системы (ОС), приводится ее архитектура, рассматриваются прикладные программы, использованные в процессе тестирования и отладки.

А.П. Буйносов

МОДЕЛЬ МНОГОФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ВЫБОРА
ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА
БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ

Ключевые слова: электровоз, колесная пара, бандаж, ресурс, повышение, эффект, метод, выбор, многофакторный, анализ, модель.

В статье описана разработанная модель многофакторного анализа выбора наиболее эффективных методов повышения ресурса бандажей колесных пар электровозов.

Д.Р. Григорьева, Г.А. Гареева, А.Ю. Ишимова
ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В
СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДАХ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА
ЦЕН НА ПОЛИМЕРНУЮ ПРОДУКЦИЮ

Ключевые слова: компьютерные технологии, программный продукт, статистический анализ, полимерная продукция.

Данная статья посвящена использованию компьютерных технологий в статистических методах на примере анализа цен на полимерную продукцию. Проведен статистический анализ в пакете Statistica на основе имеющихся данных.

Т.А. Деменкова, С.М. Коваленко
МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ
РЕАЛИЗАЦИИ СИМУЛЯЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Ключевые слова: программные средства обучения, симуляционное проектирование, портативная кейсовая аппаратура, программируемые логические интегральные схемы. В работе рассматривается актуальная проблема в области разработки дистанционных систем обучения на основе современных технологий. Выполнен анализ существующих решений на базе нескольких поколений разработанных программных средств. Предложено решение для реализации симуляционного проектирования с использованием портативной кейсовой аппаратуры. Реализована методика построения систем нового поколения для дисциплин, связанных с проектированием на программируемых логических интегральных схемах.

Н.А. Костарев, Н.М. Труфанова
РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА НАЛОЖЕНИЯ
ЛЕНТОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Ключевые слова: радиочастотный кабель, ленточная изоляция, РК-2-213, обмотка лентами.

L.V. Antonov, A.D. Varlamov
DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR
AUTOMATIC IDENTIFICATION OF ANIMALS'
STATES BASED ON SENSORS' DATA COMPLEXING
OF LIVESTOCK ENTERPRISES

Keywords: Data complexing, feature separation, mastitis, least square method.

The problem of animal diseases' rapid identification in livestock enterprises is considered in the article. There are a large number of sensors are installed on animal of the livestock enterprises. It helps to find unexpected fluctuations in the parameters when the herd is too big.

V.S. Belous, N.N. Belous, N.V. Silenok
TESTING AND DEBUGGING ACADEMIC PURPOSES
OPERATING SYSTEM

Keywords: operating system, OS architecture, programs of testing and debugging.

The article presents the results of the development of the operating system (OS), describes its architecture and applications used in the process of testing and debugging.

A.P. Buinosov

MODEL OF THE MULTIPLE-FACTOR ANALYSIS OF
THE CHOICE OF EFFECTIVE METHODS OF
INCREASE IN THE RESOURCE OF BANDAGES OF
WHEELPAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES

Keywords: electric locomotive, wheelpair, bandage, resource, increase, effect, method, choice, multiple-factor, analysis, model.

In article the developed model of the multiple-factor analysis of the choice of the most effective methods of increase in a resource of bandages of wheelpairs of electric locomotives is described.

D.R. Grigoreva, G.A. Gareeva, A.Yu. Ishimova
COMPUTER TECHNOLOGIES IN STATISTICAL
METHODS ON THE EXAMPLE OF POLYMER'S
PRICES ANALYSIS

Keywords: computer technology, software, statistical analysis, polymer products.

This article focuses on the use of computer technology in the statistical methods on the example of polymer's prices analysis. The statistical analysis in Statistica package on the basis of the available data.

T.A. Demenkova, S.M. Kovalenko
TECHNIQUE OF SOFTWARE DEVELOPMENT FOR
IMPLEMENTATION OF SIMULATION DESIGN

Keywords: training software, simulation design, portable case equipment, programmable logical integrated circuits. In work the urgent problem in the field of development of remote training systems on the basis of modern technologies is considered. The analysis of the existing decisions based on several generations of developed software is made. The solution for implementation of simulation design with use of the portable case equipment is proposed. The technique of creation of new generation systems for the disciplines connected with designing on programmable logical integrated circuits is realized.

N.A. Kostarev, N.M. Trufanova
CALCULATION OF THE OPTIMAL MODE OF THE
WINDING OF TAPE INSULATION

Keywords: a radio frequency cable, insulation tape, RK-2-213, taping.

В данной работе была разработана программа для расчета режима обмотки при наложении ленточной изоляции, реализация которой позволяет определить все возможные способы наложения изоляции для заданных параметров и выбрать из них оптимальный.

In this paper the program to calculate winding modes of tape insulation has been developed. This program allows you to determine all possible ways of winding insulation for set settings and choose the best one.

Г.И. Лавров, И.Г. Лавров
К ВОПРОСУ О ПЕРЕНОСЕ СКВАЖИННЫХ ДАННЫХ НА СЕТКУ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Ключевые слова: трехмерное моделирование, осреднение скважинных данных, алгоритм.

Разработана методика, позволяющая снизить погрешности осреднения кривой литологии на сеточную область трехмерной цифровой геологической модели. Она позволяет повысить качество осреднения скважинных данных на сеточную область, снизить трудоемкость корректировки кривой литологии. Предложенная методика апробирована при построении трехмерной геологической модели с фондом скважин более 1000.

G.I. Lavrov, I.G. Lavrov
ON THE ISSUE OF TRANSFERRING OF THE WELL DATA TO A GRID WHEN BUILDING OF 3D DIGITAL GEOLOGICAL MODELS

Keywords: 3D modeling, averaging of the well data, the algorithm.

Algorithms enabling to reduce the error of the averaging of lithology curve to a grid area of 3D digital geological model have been developed. It makes it possible to improve the quality of averaging of the well data to a grid area, to reduce the correctioning labor of the curve of lithology. The submitted technique has been tested for the construction of 3D geological model with the Fund wells more than 1000.

М.Я. Пашаев, М.Ш. Минцаев
КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗА ПРОЦЕССОМ ОКАЗАНИЯ УСЛУГ ГЛОНАСС ПО ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ

Ключевые слова: навигационная система, транспортная логистика, навигационная аппаратура пользователя, локальный сервер, функциональная схема, охраняемый груз.

В работе сформированы все необходимые структурные и функциональные схемы, необходимые для реализации предложенной ранее автором концепции использования навигационной системы ГЛОНАСС в транспортной логистике путем разделения навигационной аппаратуры пользователя на антенный блок, которым снабжаются все субъекты и перемещаемые объекты в зоне охраняемого груза, и приемовычислительную часть, размещаемую в локальном сервере, сопровождающем охраняемый груз. Описана общая структура указанной системы, функциональные схемы работы отдельного антенного блока и локального сервера. Предложенная концепция раскрывает совершенно новые возможности по обеспечению безопасности обработки ценных, опасных и специальных грузов при их обработке в транспортной компании, особенно на этапах перевозки и хранения этих грузов. Основные особенности данной системы по сравнению с существующими заключаются, прежде всего, в том, что предлагаемая концепция использования ГЛОНАСС в транспортной логистике позволяет в автоматическом режиме контролировать процесс возникновения потенциальных угроз безопасности груза и атак превентивно, то есть еще на стадии, предшествующей непосредственно совершению злонамеренных действий. Это существенно затрудняет потенциальному злоумышленнику возможность совершения несанкционированных действий. Другая важная особенность концепции - непрерывность контроля за зоной нахождения обрабатываемого груза в автоматическом режиме.

M.Ya. Pashaev, M.Sh. Mintsaev
CONCEPT OF CONTROL SYSTEM FOR SERVICE DELIVERY GLONASS TRANSPORT LOGISTICS

Keywords: navigation system, transport logistics, user's navigation equipment, local server, functional scheme, protected load.

This work contains all structural and functional schemes, which must be used in order to implement previously proposed by the author concept of applying navigational system GLONASS in transport logistics by dividing user's navigation equipment to antenna unit, by which all of the subjects and movable objects in load protection zone are supplied, even, located on local server, receiving-calculating part, which accompanies protected load are also supplied. General structure of the pointed system, functional work schemes of the antenna unit and local server, all of them were described. The proposed concept opens up completely new possibilities to ensure the security of processing valuable, dangerous and special loads as they are processed in a transport company, especially in the stages of transportation and storing these goods. The main features of this system compared to existing ones are in, first of all, that the proposed concept of using GLONASS in the transport logistics makes it possible to automatically control the process of occurrence of potential threats to the security of load and attack preemptively, i.e. at the stage prior to direct use of malicious acts. This greatly complicates a potential attacker to commit illegal actions. Another important feature of the concept - automatic continuous location monitoring of the processed cargo.

Я.И. Фальконе, О.Ю. Гаценко, Г.П. Жигулин
КЛАССИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННЫХ УГРОЗ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Ключевые слова: Социальные сети, информационная безопасность, классификация угроз.

В настоящее время существует множество различных социальных сетей, количество которых постоянно увеличивается. Одновременно наблюдается увеличение числа информационных угроз в социальных сетях. В этой статье поставлена цель разработать классификацию для выделения основных характеристик информационных угроз, направленных на нанесение ущерба информационной безопасности.

Ya.I. Falcone, O.Yu. Gacenko, G.P. Zhigullin
CLASSIFICATION OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF INFORMATION THREATS IN SOCIAL NETWORKS

Keywords: Social networking, information security, threat classification.

Nowadays there are many different social networks, the number of which is constantly increasing. At the same time there is an increase of the number of IT threats in social networks. In this article, we set a goal to develop a classification to highlight the main characteristics of information threats, aimed at causing damage to information security.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья" ООО "Научно-технический вестник Поволжья" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

№1 2017

Направления:

01.01.00 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИКА

02.00.00 — ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

**05.02.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАШИНОСТРОЕНИЕ И
МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**05.11.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,
МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ**

**05.13.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 21.02.2017 Формат 60 x 84 1/8. Печать цифровая.

5,8 усл.печ.л. 6,6 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 682.

Учредитель: ООО "Научно-технический вестник Поволжья"

420111, Республика Татарстан, Казань,

ул. Университетская, д.22, оф. 310

Адрес редакции, издателя и типографии совпадают с адресом учредителя

Цена свободная.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 216-30-35

факс:(843) 238-32-08

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»