



II МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ
РУССКИЙ МИР И ДОНБАСС

ОТ СОТРУДНИЧЕСТВА К ИНТЕГРАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ, ИННОВАЦИЙ И КУЛЬТУРЫ



ФОНД РУССКИЙ МИР

МАТЕРИАЛЫ IV Международной научной конференции

**Донецкие чтения 2019: образование, наука,
инновации, культура
и вызовы современности**

Донецк
31 октября 2019 г.



Том 1

Ч. 1

**Физико-математические
и технические науки**



Дорогие коллеги!

Сборник материалов Международной научной конференции «Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» является 9-томным изданием, включающим 13 книг. Труды конференции охватывают разнообразные направления фундаментальных и прикладных исследований в области естественных, технических и социально-гуманитарных наук. Они представляют широкий спектр новых научных результатов, полученных учеными Донецкого национального университета, многих других вузов и научных учреждений Донецкой и Луганской Народных Республик, а также специалистами целого ряда стран Европы и Азии – Российской Федерации, Азербайджанской Республики, Китайской Народной Республики, Республики Беларусь, Республики Болгария, Республики Сербия, Республики Узбекистан, Республики Южная Осетия, Туркменистана, Федеративной Республики Германия, Эстонской Республики. Значительная часть представляемых результатов получена в итоге совместных исследований ученых ДНР и других стран-участниц.

Девиз, под которым проходит конференция – «Русский мир и Донбасс: от сотрудничества к интеграции образования, науки, инноваций и культуры». Он отражает новый уровень и перспективы расширения сотрудничества, обмена мнениями и творческого взаимодействия ученых, педагогов, деятелей культуры и искусства Донецкой Народной Республики в качестве полноправных представителей научно-образовательного пространства Русского мира с коллегами из многих уголков земного шара. Выражаю уверенность, что наша совместная работа во время конференции внесет свой вклад в сокровищницу научных знаний, будет способствовать дальнейшему укреплению и развитию творческих контактов и дружеских связей!

Ректор,
доктор физико-математических
наук, профессор

С.В. Беспалова

Министерство образования и науки
Донецкой Народной Республики
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Донецкий национальный университет»
Фонд «Русский мир»

IV Международная научная конференция

Материалы
конференции

Том 1

**ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ
НАУКИ**

Часть 1

Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности

г. Донецк
31 октября 2019 г.

Донецк
Издательство ДонНУ
2019

ББК Б.я431+397я431
УДК 51+53+004
Д672

Редакционная коллегия:

С.В. Беспалова (главный редактор), М.В. Фоменко (отв. секретарь),
В.А. Дубровина, Е.И. Скафа, В.И. Сторожев, И.А. Моисеенко

Д672 Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IV Международной научной конференции (Донецк, 31 октября 2019 г.). – *Том 1: Физико-математические и технические науки. Часть 1* / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2019. – 243 с.

Ответственность за содержание статей, аутентичность цитат, правильность фактов и ссылок несут авторы статей.

В первую часть первого тома материалов IV Международной научной конференции «Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» вошли исследования по актуальным проблемам физико-математических и технических наук. Рассматриваются вопросы механики твердого тела и деформируемых сред, математического анализа и дифференциальных уравнений, теории вероятностей и математической статистики, прикладной математики и информатики, информационных систем управления. В издании также представлены работы, посвященные технологиям обучения в высшей профессиональной школе.

Освещенные в сборнике проблемы и направления их решения будут полезны научным работникам, преподавателям, студентам, аспирантам и докторантам, проводящим исследования в области и физико-математических и технических наук.

ББК Б.я431+397я431
УДК 51+53+004

© Коллектив авторов, 2019

© Донецкий национальный университет, 2019

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

Беспалова С.В. д-р физ.-мат. наук, профессор, ректор Донецкого национального университета (г. Донецк)

Заместитель председателя:

Бабурин С.Н. д-р юрид. наук, профессор, главный научный сотрудник Института государства и права РАН, Президент Международной славянской академии наук, образования, искусств и культуры, Президент Ассоциации юридических вузов (г. Москва)

Члены программного комитета:

Аваков С.Ю. д-р юрид. наук, профессор, ректор Таганрогского института управления и экономики (г. Таганрог)

Беспалова Т.В. д-р филос. наук, ведущий научный сотрудник, руководитель Отдела государственной культурной политики Российского научно-исследовательского института культурного и природного наследия имени Д.С. Лихачева (г. Москва)

Болнокин В.Е. д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотр., руководитель Центра подготовки научных кадров ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова» (г. Москва)

Воронова О.Е. д-р филол. наук, профессор, профессор кафедры журналистики, руководитель Есенинского научного центра Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина, член Общественной палаты Российской Федерации, член Союза писателей и Союза журналистов России (г. Рязань)

Илюхин А.А. д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры математики Таганрогского института имени А.П. Чехова (филиал) ФБГОУ ВО «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)» (г. Таганрог)

Качалов Р.Н. и.о. ректора ГОУ ВПО «Донецкая государственная музыкальная академия имени С.С. Прокофьева» (г. Донецк)

Кшикань Р.В. председатель Государственного комитета по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республики (г. Донецк)

- Ковалев А.М.* д-р физ.-мат. наук, профессор, директор ГУ «Институт прикладной математики и механики» (г. Донецк)
- Кожухов И.Б.* д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры высшей математики НИУ «Московский институт электронной техники» (г. Москва)
- Нечаев В.Д.* д-р полит. наук, ректор Севастопольского государственного университета (г. Севастополь)
- Рябичев В.Д.* д-р техн. наук, профессор, ректор Луганского национального университета имени Владимира Даля (г. Луганск)
- Приходько С.А.* канд. биол. наук, ст. науч. сотр., директор ГУ «Донецкий ботанический сад» (г. Донецк)
- Решидова И.Ю.* канд. физ.-мат. наук, и.о. директора ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина» (г. Донецк)
- Савоськин М.В.* канд. хим. наук, ст. науч. сотр., директор ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко» (г. Донецк)
- Скафа Е.И.* д-р пед. наук, профессор, проректор по научно-методической и учебной работе Донецкого национального университета (г. Донецк)
- Сорокина Г.А.* д-р пед. наук, профессор, первый проректор Луганского государственного университета имени Тараса Шевченко (г. Луганск)
- Сторожев В.И.* д-р техн. наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности Донецкого национального университета (г. Донецк)
- Тедеев В.Б.* канд. техн. наук, профессор, ректор Юго-Осетинского государственного университета имени А.А. Тибилова, (г. Цхинвал)
- Шемякина Н.В.* канд. экон. наук, доцент, и.о. директора ГУ «Институт экономических исследований» (г. Донецк)

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 517.444

ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ ФУНКЦИЙ С НУЛЕВЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ ПО ШАРАМ ФИКСИРОВАННОГО РАДИУСА

Волчков В.В., д-р физ.-мат. наук, профессор,
Волчков Вит.В., д-р физ.-мат. наук, профессор
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
valeriyvolchkov@gmail.com, volna936@gmail.com

Пусть \mathbb{R}^n – вещественное евклидово пространство размерности $n \geq 2$ с евклидовой нормой $|\cdot|$. Предположим, что $f \in L_{loc}(\mathbb{R}^n)$ и выполнено равенство

$$\int_{|x| \leq r} f(x+y) dx = 0 \quad (1)$$

при некотором фиксированном $r > 0$ и всех $y \in \mathbb{R}^n$. Верно ли, что $f = 0$? Этот вопрос был рассмотрен в 1929 году известным румынским математиком Д. Помпейю, который утверждал, что при $n = 2$ ответ является положительным (см., например, обзор [1]). Однако, спустя пятнадцать лет Л. Чакалов обнаружил (см. [1]), что доказательство Д. Помпейю содержит ошибку. Более того, он показал, что функция $f(x_1, x_2) = \sin(\lambda x_1)$ имеет нулевые интегралы по всем единичным кругам в \mathbb{R}^2 , если число λ является нулём функции Бесселя J_1 . Впоследствии выяснилось, что аналогичные примеры ненулевых функций с условием (1) можно построить, используя метод, предложенный И. Радоном ещё в 1917 году. Этот метод основан на теореме о среднем для собственных функций оператора Лапласа и может быть распространён на произвольное двухточечно-однородное пространство X (см. [2, часть 2, п. 2.4]). Кроме того, он позволяет строить ненулевые функции на X , имеющие нулевые интегралы по всем сферам фиксированного радиуса.

Обозначим через $V_r(\mathbb{R}^n)$ множество функций $f \in L_{loc}(\mathbb{R}^n)$, удовлетворяющих (1) при всех $y \in \mathbb{R}^n$. Данный класс функций, а также различные его аналоги и обобщения активно изучались в течение последних пятидесяти лет в работах Ф. Йона, Д. Дельсарта, Д. Смита, Л. Зальцмана, К.А. Беренстейна и других авторов (см. обзор [1] и монографии [2–4], содержащие обширную библиографию). Перечислим основные направления в этих исследованиях.

1. Изучение нулевых множеств и соответствующие теоремы единственности для класса $V_r(\mathbb{R}^n)$. Данное направление восходит к теореме единственности Ф. Йона для функций с нулевыми сферическими средними.
2. Исследование допустимых ограничений на рост ненулевых функций класса $V_r(\mathbb{R}^n)$ и его аналогов на неограниченных областях (теоремы типа Лиувилля и Фрагмена-Линделёфа).
3. Изучение функций с условиями типа (1), в которых r принадлежит заданному двухэлементному множеству (теоремы о двух радиусах). Первым результатом в этом направлении является классическая теорема Д. Дельсарта о характеристике гармонических функций посредством уравнения средних значений, выполненного только для двух радиусов.
4. Описание функций класса $V_r(\mathbb{R}^n)$ в виде рядов по сферическим гармоникам (аналоги разложений Тейлора и Лорана из теории аналитических функций).
5. Проблема продолжения.
6. Теоремы о стирании особенностей.
7. Задачи интегральной геометрии о восстановлении функций из заданных классов по известным шаровым средним.
8. Аппроксимация функций с нулевыми шаровыми средними линейными комбинациями специальных функций.
9. Изучение аналогов и обобщений класса $V_r(\mathbb{R}^n)$ на различных однородных пространствах и группах (например, на римановых симметрических пространствах).

В данной работе впервые изучаются интерполяционные задачи для класса $V_r(\mathbb{R}^n)$. В случае, когда множество узлов интерполяции является конечным, получена следующая теорема о существовании решения кратной интерполяционной задачи при общих предположениях.

Теорема 1. Пусть $s, q \in \mathbb{N}$. Тогда для любого набора попарно различных точек a_1, \dots, a_q в \mathbb{R}^n и любого набора констант

$$b_{\alpha, k} \in \mathbb{C} \quad (\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n) \in \mathbb{Z}_+^n, \alpha_1 + \dots + \alpha_n \leq s, k = 1, \dots, q)$$

существует вещественно аналитическая функция $f \in V_r(\mathbb{R}^n)$, удовлетворяющая условиям

$$(\partial^\alpha f)(a_k) = b_{\alpha, k}.$$

Дальнейшие результаты работы содержат различные достаточные условия разрешимости интерполяционных задач с бесконечным числом узлов. Одним из промежуточных результатов работы является новый пример подмножества \mathbb{R}^n , на котором некоторая ненулевая вещественно аналитическая функция класса $V_r(\mathbb{R}^n)$ равна нулю.

Список литературы

1. Zalcman L.A bibliographic survey of the Pompeiu problem / L. Zalcman // Approximation by Solutions of Partial Differential Equations. – 1992. – P. 185–194.
2. Volchkov V.V. Offbeat integral geometry on symmetric spaces / V.V. Volchkov, Vit.V. Volchkov. – Basel: Birkhäuser, 2013. – 592 p.
3. Volchkov V.V. Integral geometry and convolution equations. – Dordrecht: Kluwer, 2003. – 454 p.
4. Volchkov V.V. Harmonic analysis of mean periodic functions on symmetric spaces and the Heisenberg group / V.V. Volchkov, Vit.V. Volchkov. – London: Springer, 2009. – 671 p.

УДК 531.38; 531.39

ИНТЕГРИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ И ГИРОСКОПИЧЕСКИХ СИЛ В СЛУЧАЕ ТРЕХ ИНВАРИАНТНЫХ СООТНОШЕНИЙ

*Горр Г.В.*¹, д-р физ.-мат. наук, проф.,

*Мазнев А.В.*², д-р физ.-мат. наук, доц.,

¹ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, ДНР

gvgorr@gmail.com

²ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет", г. Донецк, ДНР

aleksandr_maznev@rambler.ru

Введение. В докладе построен новый класс решений уравнений движения тела в потенциальном поле сил, характеризующийся тремя нелинейными инвариантными соотношениями (ИС). С помощью метода решения обратных задач динамики найдена силовая функция и условия на главные моменты инерции, которые зависят от натурального показателя степени заданных ИС. Интересно отметить, что из этих условий при фиксированном значении показателя следует либо условие С.В. Ковалевской, либо условие Д.Н. Горячева–С.А. Чаплыгина, а при произвольном натуральном значении они являются новыми.

Для исследуемых ИС задача интегрирования уравнений движения сведена к квадратурам. На основе найденного решения определены углы Эйлера, параметры Родрига–Гамильтона, подвижный и неподвижный годографы вектора угловой скорости.

Исследованы условия существования решений уравнений движения тела под действием потенциальных и гироскопических сил, которые характеризуются дополнительным ИС в случае постоянного модуля момента количества движения тела.

Полученные результаты могут найти применение в приложениях механики твердого тела.

Основная часть. Наиболее общие подходы в исследовании первых интегралов уравнений движения твердого тела в потенциальном поле сил предложены Д.Н. Горячевым [1,2]. Анализ результатов, полученных в этой задаче отражен в монографии А.В. Борисова и И.С. Мамаева [3]. Поскольку уравнения движения тела в потенциальном поле сил являются обобщениями классических уравнений динамики твердого тела (в частности, уравнений Эйлера–Пуассона и уравнений Кирхгофа–Пуассона), то проблемы интегрирования уравнений движения остаются прежними. То есть, в силу выводов С.Л. Зиглина [4], В.В. Козлова и Д.А. Онищенко [5], уравнения движения тела в потенциальном поле сил в общем случае неинтегрируемы в квадратурах. Хотя в отдельных случаях (см., например, статьи Д.Н. Горячева [1] и Х.М. Яхьи [6, 7]) можно найти дополнительный интеграл, что теоретически позволяет выполнить интегрирование уравнений в квадратурах.

Описывая состояние и перспективы развития классических задач динамики твердого тела, П.В. Харламов [8] отмечал, что в силу неинтегрируемости в общем случае уравнений в этих задачах, актуальным становится исследование частных решений уравнений движения.

В данном докладе эти частные решения получены в задаче о движении твердого тела под действием потенциальных сил (первая задача) и в задаче о движении твердого тела под действием потенциальных и гироскопических сил (вторая задача). Для уравнений движения в первой задаче изучены условия существования трех ИС; для уравнений движения во второй задаче исследованы условия существования четырех инвариантных соотношений.

Уравнения движения тела под действием потенциальных и гироскопических сил таковы

$$A\dot{\boldsymbol{\omega}} = A\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{\omega} + \frac{\partial L}{\partial \mathbf{v}} \times \boldsymbol{\omega} + \frac{\partial U}{\partial \mathbf{v}} \times \mathbf{v}, \quad \dot{\mathbf{v}} = \mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}, \quad (1)$$

где $\boldsymbol{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)$ – вектор угловой скорости тела-носителя; $\mathbf{v} = (v_1, v_2, v_3)$ – единичный вектор; A – тензор инерции гиростата с компонентами A_{ij} ; $L(v_1, v_2, v_3)$, $U(v_1, v_2, v_3)$ – дифференцируемые скалярные функции компонент вектора \mathbf{v} .

Если в уравнениях (1) $L(v_1, v_2, v_3) \equiv 0$, то получим уравнения движения для первой задачи. В этом случае построены решения, которые характеризуются ИС [9]

$$\omega_1 = v_3^{n-1} \left(-\frac{\mu_1 n}{n+2} v_1 + \beta_1 \mu_2 \right), \quad \omega_2 = v_3^{n-1} \left(-\frac{\mu_1 n}{n+2} v_2 + \beta_2 \mu_2 \right), \quad \omega_3 = \mu_1 v_3^n \quad (2)$$

где $\mu_1, \mu_2, \beta_1, \beta_2$ – постоянные параметры, n – натуральное число или нуль. Решена обратная задача механики: определены условия существования ИС системы (1) при $L(v_1, v_2, v_3) \equiv 0$. Для этой цели построена функция $U(v_1, v_2, v_3)$:

$$U(v_1, v_2, v_3) = \frac{1}{2} \left\{ A_3 (n+2) v_3^{2(n-1)} \left[\frac{n^2}{(n+2)^2} \mu_1^2 (v_1^2 + v_2^2) - \frac{2n}{n+2} \mu_1 \mu_2 (\beta_1 v_1 + \beta_2 v_2) + \chi_0^2 \mu_2^2 \right] + A_3 \mu_1^2 v_3^{2n} \right\} - E. \quad (3)$$

С помощью (3) проинтегрированы уравнения (1), указана зависимость вспомогательной переменной v_3 от времени

$$\int_{v_3^{(0)}}^{v_3} \frac{dv_3}{v_3^{n-1} \sqrt{F(v_3)}} - \frac{1}{n+2} (t - t_0), \quad F(v_3) = -\varepsilon_2^2 v_3^4 + \varepsilon_1 v_3^2 + \varepsilon_0, \\ \varepsilon_2 = \mu_1 (n+1), \quad \varepsilon_1 = 2\mu_1^2 n(n+1) - \chi_0^2 \mu_2^2 (n+2)^2, \\ \varepsilon_0 = \chi_0^2 \mu_2^2 (n+2)^2 - n^2 \mu_1^2$$

Для полной системы (1) $L(v_1, v_2, v_3) \neq 0$ рассмотрены три ИС

$$\omega_1 = v_1 \varepsilon(v_3) + \beta_1 g(v_3), \quad \omega_2 = v_2 \varepsilon(v_3) + \beta_2 g(v_3), \quad \omega_3 = h(v_3), \quad (4)$$

Интерес ИС (4) состоит в том, что уравнения Пуассона из (1)

$$\dot{v}_1 = v_2 (h(v_3) - v_3 \varepsilon(v_3)) - \beta_2 v_3 g(v_3), \\ \dot{v}_2 = -v_1 (h(v_3) - v_3 \varepsilon(v_3)) + \beta_1 v_3 g(v_3), \quad \dot{v}_3 = g(v_3) (\beta_2 v_1 - \beta_1 v_2) \quad (5)$$

на ИС (4) допускают интегральное соотношение $\beta_1 v_1 + \beta_2 v_2 = c_0 + F(v_3)$. Здесь c_0 – произвольная постоянная, а функция $F(v_3)$ такова

$$F(v_3) = \int \frac{v_3 \varepsilon(v_3) - h(v_3)}{g(v_3)} dv_3. \quad (6)$$

В докладе полагается, что кроме (4) выполняется ИС [10]

$$\mathbf{x}^2 = c^2 \quad (c^2 = const.), \quad (7)$$

где $\mathbf{x} = (A_1 \omega_1, A_2 \omega_2, A_3 \omega_3)$ – момент количества движения тела. Используя метод исследования трех ИС, изложенный в [11], показано [10], что редуцированные уравнения имеют решения с ИС(7).

Список литературы

1. Горячев Д. Н. Некоторые общие интегралы в задаче о движении твердого тела. – Варшава, 1910. – 62 с.
2. Горячев Д. Н. Новые случаи движения твердого тела вокруг неподвижной точки. – Варшав. унив. изв., 1915. Кн. 3. – С. 1-11.
3. Борисов А. В. Динамика твердого тела / А. В. Борисов И. С. Мамаев. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 384 с.
4. Зиглин С. Л. Расщепление сепаратрис, ветвление решений и несуществование интеграл в динамике твердого тела / С. Л. Зиглин // Тр. Москов. мат. о-ва. – 1980, № 41. – С. 287-303.
5. Козлов В. В. Неинтегрируемость уравнений Кирхгофа / В. В. Козлов, Д. А. Онищенко // Докл. АН СССР. – 1982. – 266, № 6. – С. 1298–1300.
6. Yehia H.M. Transformations of mechanical systems with cyclic coordinates and new integrable problems / H.M. Yehia // J. Phys. A.: Math. Con. – 2001, с 34. – P. 11167–11183.
7. Yehia H.M. New solvable problems in the dynamics of a rigid body about a fixed point in a potential field / H.M. Yehia // J. Mechanics Research Communications. – 2014. – № 57. – P. 44–48.
8. Харламов П. В. Современное состояние и перспективы развития классических задач динамики твердого тела / П. В. Харламов // Механика твердого тела. – 2000. – Вып. 30. – С. 1–12.

9. Горр Г.В. О трех инвариантных соотношениях уравнений движения тела в потенциальном поле сил / Г.В. Горр // Прикл. математика и механика. – 2019. – **83**, № 2. – С. 202-214.
10. Мазнев А.В. О решениях уравнений Д.Гриоли в случае постоянного модуля количества движения тела, имеющего неподвижную точку / А.В. Мазнев, Т.В. Белоконь // Механика твердого тела. – 2018. – Вып. 48. – С. 15–25.
11. Горр Г.В. Инвариантные соотношения уравнений динамики твердого тела (теория, результаты, комментарии). / Г.В. Горр. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017. – 424 с.

УДК 539.3

НОВЫЕ КЛАССЫ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ ИЗГИБА ТОНКИХ ПЛИТ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Калоеров С.А., д-р физ.-мат. наук, профессор
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
kaloerov@mail.ru

Введение. Несмотря на широкое применение в современной науке и технике тонких плит из пьезоматериалов и необходимость определения их напряженно-деформированного состояния от действия механических сил и электромагнитных полей, до сих пор не разработаны математические модели и методы решения таких задач. Первые математические модели изгиба тонких изотропных плит еще в 1764 г. были предложены Эйлером, а затем в течение полувека значительно улучшены в работах Бернулли-мл, Софии Жермена, Лагранжа, Пуассона и Навье. Но достаточно удовлетворительная, так называемая прикладная теория изгиба тонких плит, была предложена лишь в 1850 г. Кирхгофом. Она основана на 2-х предположениях: прямые в плите, перпендикулярные к ее срединной плоскости, остаются перпендикулярными к срединной поверхности изогнутой поверхности и элементы срединной плоскости не испытывают удлинений. Вскоре после этого в работах Геринга, Буссенескаа, а чуть позже Губера прикладная теория изгиба была распространена на анизотропные пластинки. При этом условия Кирхгоффа были дополнены условием наличия в каждой точке пластинки плоскости упругой симметрии, параллельной срединной плоскости. Полное оформление этой теории с приложением к решению задач было дано в 1938 г. Лехницким С. Г. [1], а для многосвязных плит – Космодамианским А.С. [2], Меглинским В. В. [3] и Калоеровым С. А. [4]. Однако многие элементы современных конструкций, особенно в космической отрасли, изготавливаются из новых композиционных материалов, обладающих порой существенным пьезоэффектом, что нельзя не учитывать при их исследованиях напряженно-деформированного состояния. Но к настоящему времени для

тонких пластин из пьезоматериалов широкие исследования в области их электромагнитоупругого состояния (ЭМУС) проведены лишь для случая, когда они находятся в условиях плоской задачи [5, 6]. Для случая же изгиба электромагнитоупругой плиты лишь в этом году предложена некоторая модель изгибного деформирования, получены дифференциальные уравнения и краевые условия их решения [7]. При этом классическая прикладная теория изгиба тонких плит Кирхгофа распространена на электромагнитоупругие плиты, для которых имеет место полная система уравнений, включающая уравнения равновесия сплошной среды, уравнения вынужденной электромагнитостатики и уравнения состояния, включающие все связи между напряжениями, деформациями, индукциями и напряженностями электромагнитного поля при полных граничных условиях, механических и электромагнитных. Общее решение задачи сведено к решению системы 3 дифференциальных уравнений в частных производных сначала 4-го порядка, а после преобразований 3 дифференциальных уравнений 8-го порядка.

В данном сообщении описываются эти краевые задачи, даются методы их решения с введением комплексных потенциалов электромагнитоупругого изгиба, с получением соответствующих граничных условий для их нахождения и общих представлений функций для многосвязных плит.

Модели и краевые задачи электромагнитоупругого изгиба плит. Рассматривается тонкая плита из пьезоматериала, для которой выполняются гипотезы Кирхгофа и, кроме того, в каждой точке плиты имеется плоскость материальной симметрии, параллельная срединной плоскости, на ее верхнем основании действуют нормальные усилия $\sigma_z = q(x, y)$, нижнее основание не загружено, на обоих основаниях потоки индукции электрической и магнитной равны нулю. При этих условиях из уравнений электромагнитоупругого состояния остаются уравнения

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_x &= s_{11}\sigma_x + s_{12}\sigma_y + s_{16}\tau_{xy} + g_{11}D_x + g_{21}D_y + p_{11}B_x + p_{21}B_y, \\
 \varepsilon_y &= s_{12}\sigma_x + s_{22}\sigma_y + s_{26}\tau_{xy} + g_{12}D_x + g_{22}D_y + p_{12}B_x + p_{22}B_y, \\
 \gamma_{xy} &= s_{16}\sigma_x + s_{26}\sigma_y + s_{66}\tau_{xy} + g_{16}D_x + g_{26}D_y + p_{16}B_x + p_{26}B_y, \\
 E_x &= -g_{11}\sigma_x - g_{12}\sigma_y - g_{16}\tau_{xy} + \beta_{11}D_x + \beta_{12}D_y + \nu_{11}B_x + \nu_{12}B_y, \\
 E_y &= -g_{21}\sigma_x - g_{22}\sigma_y - g_{26}\tau_{xy} + \beta_{12}D_x + \beta_{22}D_y + \nu_{12}B_x + \nu_{22}B_y, \\
 H_x &= -p_{11}\sigma_x - p_{12}\sigma_y - p_{16}\tau_{xy} + \nu_{11}D_x + \nu_{12}D_y + \chi_{11}B_x + \chi_{12}B_y, \\
 H_y &= -p_{21}\sigma_x - p_{22}\sigma_y - p_{26}\tau_{xy} + \nu_{12}D_x + \nu_{22}D_y + \chi_{12}B_x + \chi_{22}B_y, \quad (1)
 \end{aligned}$$

в которых s_{ij} – коэффициенты деформации материала, измеренные при постоянных индукциях электрического и магнитного полей; g_{ij} и p_{ij} – пьезоэлектрические и пьезомагнитные модули деформации и напряженностей, измеренные при постоянных напряжениях и индукциях; β_{ij} , ν_{ij} , χ_{ij} – соответственно коэффициенты диэлектрической, магнитной и

электромагнитной восприимчивостей, измеренные при постоянных напряжениях. При этом решением системы (1) будут выражения

$$\begin{aligned}
\sigma_x &= b_{11}\varepsilon_x + b_{12}\varepsilon_y + b_{16}\gamma_{xy} + c_{g11}E_x + c_{g21}E_y + c_{p11}H_x + c_{p21}H_y, \\
\sigma_y &= b_{12}\varepsilon_x + b_{22}\varepsilon_y + b_{26}\gamma_{xy} + c_{g12}E_x + c_{g22}E_y + c_{p12}H_x + c_{p22}H_y, \\
\tau_{xy} &= b_{16}\varepsilon_x + b_{26}\varepsilon_y + b_{66}\gamma_{xy} + c_{g16}E_x + c_{g26}E_y + c_{p16}H_x + c_{p26}H_y, \\
D_x &= -c_{g11}\varepsilon_x - c_{g12}\varepsilon_y - c_{g16}\gamma_{xy} + d_{g11}E_x + d_{g12}E_y + d_{p11}H_x + d_{p12}H_y, \\
D_y &= -c_{g21}\varepsilon_x - c_{g22}\varepsilon_y - c_{g26}\gamma_{xy} + d_{g12}E_x + d_{g22}E_y + d_{p12}H_x + d_{p22}H_y, \\
B_x &= -c_{p11}\varepsilon_x - c_{p12}\varepsilon_y - c_{p16}\gamma_{xy} + d_{p11}E_x + d_{p12}E_y + e_{p11}H_x + e_{p12}H_y, \\
B_y &= -c_{p21}\varepsilon_x - c_{p22}\varepsilon_y - c_{p26}\gamma_{xy} + d_{p12}E_x + d_{p22}E_y + e_{p12}H_x + e_{p22}H_y. \quad (2)
\end{aligned}$$

Учитывая эти равенства и удовлетворяя условиям на плоских основаниях плиты, из основной системы уравнений, включающей уравнения равновесия сплошной среды и уравнения вынужденной электромагнитостатики, общее решение задачи сведено к решению следующей системы 3-х дифференциальных уравнений в частных производных 4-го порядка для определения функций прогиба плиты $w(x, y)$ и плотностей по толщине плиты потенциалов электрического поля $\varphi_0(x, y)$ и магнитного поля $\psi_0(x, y)$

$$\begin{aligned}
L_{4s}w + L_{3g}\varphi_0 + L_{3p}\psi_0 &= q(x, y), \quad L_{3g}w + L_{2gg}\varphi_0 + L_{2pp}\psi_0 = 0, \\
L_{3p}w + L_{2pp}\varphi_0 + E_{2pp}\psi_0 &= 0. \quad (3)
\end{aligned}$$

Здесь

$$\begin{aligned}
L_{4s} &= -\left(D_{11}\frac{\partial^4}{\partial x^4} + 4D_{16}\frac{\partial^4}{\partial x^3\partial y} + 2(D_{12} + 2D_{66})\frac{\partial^4}{\partial x^2\partial y^2} + 4D_{26}\frac{\partial^4}{\partial x\partial y^3} + D_{22}\frac{\partial^4}{\partial y^4} \right), \\
L_{3g} &= C_{g11}\frac{\partial^3}{\partial x^3} + (C_{g21} + 2C_{g16})\frac{\partial^3}{\partial x^2\partial y} + (C_{g12} + 2C_{g26})\frac{\partial^3}{\partial x\partial y^2} + C_{g22}\frac{\partial^3}{\partial y^3}, \\
L_{3p} &= C_{p11}\frac{\partial^3}{\partial x^3} + (C_{p21} + 2C_{p16})\frac{\partial^3}{\partial x^2\partial y} + (C_{p12} + 2C_{p26})\frac{\partial^3}{\partial x\partial y^2} + C_{p22}\frac{\partial^3}{\partial y^3}, \\
L_{2gg} &= D_{g11}\frac{\partial^2}{\partial x^2} + 2D_{g12}\frac{\partial^2}{\partial x\partial y} + D_{g22}\frac{\partial^2}{\partial y^2}, \\
L_{2pp} &= D_{p11}\frac{\partial^2}{\partial x^2} + 2D_{p12}\frac{\partial^2}{\partial x\partial y} + D_{p22}\frac{\partial^2}{\partial y^2}, \\
E_{2pp} &= E_{p11}\frac{\partial^2}{\partial x^2} + 2E_{p12}\frac{\partial^2}{\partial x\partial y} + E_{p22}\frac{\partial^2}{\partial y^2}; \quad (4)
\end{aligned}$$

$D_{ij} = b_{ij}D_0$ – упругие жесткости плиты; $C_{gij} = c_{gij}D_0$, $C_{pij} = c_{pij}D_0$, $D_{gij} = d_{gij}D_0$, $D_{pij} = d_{gij}D_0$, $E_{pij} = e_{pij}D_0$ – электромагнитные жесткости плиты; $D_0 = \frac{2}{3}h^3$ – постоянная, зависящая от толщины плиты h .

Обобщенные комплексные потенциалы задачи. Операторными преобразованиями соответствующая (3) однородная система уравнений приводится к 3-м уравнениям в частных производных 8-го порядка

$$\begin{vmatrix} L_{4s} & L_{3g} & L_{3p} \\ L_{3g} & L_{2gg} & L_{2pp} \\ L_{3p} & L_{2pp} & E_{2pp} \end{vmatrix} (w(x, y), \varphi_0(x, y), \psi_0(x, y)) = 0, \quad (5)$$

решения которых найдено в виде

$$w(x, y) = w_0(x, y) + 2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 W_k(z_k); \quad (6)$$

$$\varphi_0(x, y) = \varphi_{00}(x, y) + 2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 \lambda_k W'_k(z_k),$$

$$\psi_0(x, y) = \psi_{00}(x, y) + 2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 \nu_k W'_k(z_k), \quad (7)$$

где $w_0(x, y)$, $\varphi_{00}(x, y)$ и $\psi_{00}(x, y)$ – частное решение системы (3); $W_k(z_k)$ – функции обобщенных комплексных переменных $z_k = x + \mu_k y$; $\mu_k = \alpha_k + i\beta_k$ – корни алгебраического уравнения 8-го порядка

$$\begin{vmatrix} l_{4s} & l_{3g} & l_{3p} \\ l_{3g} & l_{2gg} & l_{2pp} \\ l_{3p} & l_{2pp} & e_{2pp} \end{vmatrix} = 0; \quad (8)$$

$l_{ij}(\mu)$ – полиномы вида

$$\begin{aligned} l_{4s}(\mu) &= -(D_{22}\mu^4 + 4D_{26}\mu^3 + 2(D_{12} + 2D_{66})\mu^2 + 4D_{66}\mu + D_{11}) \\ l_{3g}(\mu) &= C_{g22}\mu^3 + (C_{g12} + 2C_{g26})\mu^2 + (C_{g21} + 2C_{g16})\mu + C_{g11}, \\ l_{3p}(\mu) &= C_{p22}\mu^3 + (C_{p12} + 2C_{p26})\mu^2 + (C_{p21} + 2C_{p16})\mu + C_{p11}, \\ l_{2gg}(\mu) &= D_{g22}\mu^2 + 2D_{g12}\mu + D_{g11}, \\ l_{2pp}(\mu) &= D_{p22}\mu^2 + 2D_{p12}\mu + D_{p11}, \\ e_{2pp}(\mu) &= E_{p22}\mu^2 + 2E_{p12}\mu + E_{p11}. \end{aligned} \quad (9)$$

При этом в случае многосвязной области комплексные потенциалы имеют вид

$$W'_k(z_k) = \Gamma_k z_k + \sum_{l=1}^L (A_{kl} z_k + B_{kl}) \ln(z_k - z_{kl}) + W'_{k0}(z_k), \quad (10)$$

в котором Γ_k , A_{kl} , B_{kl} – известные постоянные; $W'_{k0}(z_k)$ – неизвестная голоморфная в многосвязных областях S_k , соответствующих заданной области при указанных аффинных преобразованиях.

Для нахождения обобщенных комплексных потенциалов $W'_k(z_k)$ найдены граничные условия для всех возможных случаев механических и электромагнитных условий на контурах плиты. Так, если на контуре заданы внешними воздействиями в виде изгибающих моментов $m_l(s)$, поперечных усилий $p_l(s)$ и индукционных моментов $m_{dl}(s)$, $m_{bl}(s)$, то граничные условия для определения функций имеют вид

$$2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 \left(\frac{p_k}{\mu_k}, q_k, d_{yk}, b_{yk} \right) W'_k(z_k) = (f_1(t), f_2(t), f_3(t), f_4(t)), \quad (11)$$

где p_k , q_k , d_{nl} , b_{nl} – известные постоянные, $f_i(t)$ – заданные функции.

После определения комплексных потенциалов легко находятся все основные характеристики ЭМУС плиты в любой точке. Например, механические моменты вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} (M_x, M_y, H_{xy}) &= (M_{0x}, M_{0y}, H_{0xy}) - 2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 (p_k, q_k, r_k) W''_k(z_k), \\ p_k &= D_{11} + 2D_{16}\mu_k + D_{12}\mu_k^2 - (C_{g11} + C_{g21}\mu_k)\lambda_k - (C_{p11} + C_{p21}\mu_k)\nu_k, \\ q_k &= D_{12} + 2D_{26}\mu_k + D_{22}\mu_k^2 - (C_{g12} + C_{g22}\mu_k)\lambda_k - (C_{p11} + C_{p22}\mu_k)\nu_k, \\ r_k &= D_{16} + 2D_{66}\mu_k + D_{26}\mu_k^2 - (C_{g16} + C_{g26}\mu_k)\lambda_k - (C_{p16} + C_{p26}\mu_k)\nu_k. \end{aligned} \quad (12)$$

На основе приведенных формул можно получать решения различных задач, представляющих теоретический и практический интерес.

Список литературы

1. Лехницкий С. Г. О некоторых вопросах, связанных с теорией изгиба тонких плит // Прикладная математика и механика. – 1938. – Т. 2, вып. 2. – С. 181–209.
2. Космодамианский А. С. Напряженное состояние анизотропных сред с отверстиями или полостями. – К., Донецк: Вища шк., 1976. – 200 с.
3. Меглинский В. В. Некоторые задачи изгиба тонких многосвязных анизотропных плит // Некоторые задачи теории упругости о концентрации напряжений и деформации упругих тел (СГУ). – 1967. – Вып. 3. – С. 97–127.
4. Калоеров С.А. Комплексные потенциалы теории изгиба многосвязных анизотропных плит // Теоретическая и прикладная механика. – 2012. – Вып. 4 (50). – С. 113–132.
5. Калоеров С.А., Баева А.И., Бороненко О.И. Двумерные задачи электро- и магнитоупругости для многосвязных сред. – Донецк: Юго-Восток, 2007. – 270 с.
6. Калоеров С.А., Петренко А. В. Двумерные задачи электромагнитоупругости для многосвязных тел. – Донецк: Юго-Восток, 2011. – 232 с.
7. Калоеров С.А. Краевые задачи прикладной теории изгиба тонких электромагнитоупругих плит // Вестн. ДонНУ. Сер. А. Естественные науки. – 2019. – № 1. – С. 42–58.

ТЕОРИЯ ПОЛИГОНОВ НАД ПОЛУГРУППАМИ

*Кожухов И.Б.*¹, д-р физ.-мат. наук, профессор,

*Михалёв А.В.*², д-р физ.-мат. наук, профессор

¹НИУ «Московский институт электронной техники», г. Москва

kozuhov_i_b@mail.ru

²Московский государственный университет, г. Москва

Полигоном над полугруппой S называется множество X , на котором действует полугруппа S , т.е. определено отображение $X \times S \rightarrow X$, $(x, s) \mapsto xs$, удовлетворяющее условию $x(st) = (xs)t$ при всех $x \in X$, $s \in S$ (см. [1]). Если через $T(X)$ обозначить полугруппу всех отображений $\alpha : X \rightarrow X$, $x \mapsto x\alpha$ с умножением $x(\alpha\beta) = (x\alpha)\beta$, то получим *полугруппу преобразований* множества X . Пусть X – полигон над полугруппой S . Для $a \in S$ и $x \in X$ положим $x\varphi_a = xa$. Тогда $\varphi_a \in T(X)$, а отображение $S \rightarrow T(X)$, $a \mapsto \varphi_a$ является *представлением полугруппы S преобразованиями* множества X .

Полигон над полугруппой можно рассматривать также как абстрактный *автомат*. При этом X является множеством состояний автомата, а S – полугруппой входных сигналов. Таким образом, теория полигонов – это фактически *алгебраическая теория автоматов*, основы которой были заложены В.М. Глушковым в работе [2]; см. также [3]. Кроме того, понятие полигона над полугруппой фактически совпадает с понятием *унарной алгебры*, т.е. универсальной алгебры, все операции которой унарны (определённые выше отображения φ_a являются теми самыми унарными операциями).

Для полугрупп сравнительно простого строения полигоны над ними могут быть описаны с той или иной степенью детализации, а в ряде случаев исчерпывающим образом. Так, в [4] были описаны в теоретико-множественных и теоретико-групповых терминах все полигоны над вполне простой и полигоны с нулём над вполне 0-простой полугруппой.

Теория полигонов над полугруппами развивается под большим влиянием теории модулей над кольцами, заимствуя у неё понятия, формулировки утверждений и методы исследования. Категория всех модулей над заданным кольцом, а также категория всех полигонов над заданной полугруппой – основной объект изучения *гомологической теории*. Л.А.Скорняковым были опубликованы статьи [5,6], посвящённые вышеупомянутым двум ветвям этой теории. Гомологическая теория полигонов в большой степени представлена в монографии [1]. Центральное место в гомологической теории занимают *проективные* и

инъективные модули и полигоны. Любой модуль и любой полигон имеют инъективную оболочку, т.е. наименьший инъективный модуль (полигон), содержащий данный. Для полигонов, как и для модулей, вводится понятие проективного накрытия – наименьшего модуля (полигона), имеющего сюръективный гомоморфизм на данный. В работах [7, 8] были получены необходимые и достаточные условия проективности и инъективности полигона (полигона с нулём) над вполне (0-)простой полугруппой.

Решётка конгруэнций универсальной алгебры – важная её характеристика. Знание всех конгруэнций алгебры означает знание всех её гомоморфных образов. Пусть $\text{Con } A$ обозначает решётку конгруэнций алгебры A . Условия модулярности или дистрибутивности решётки конгруэнций полигона над произвольной полугруппой исследовались в работе [9]. В [10] были найдены необходимые и достаточные условия модулярности (а также дистрибутивности и линейной упорядоченности) решётки конгруэнций полигона над прямоугольной связкой (т.е. полугруппой, являющейся прямым произведением полугрупп левых и правых нулей). Напомним, что *подпрямо неразложимая* алгебра – это алгебра, неразложимая в нетривиальное подпрямое произведение алгебр. Интерес к этим алгебрам объясняется классической теоремой Биркгофа, утверждающей, что любая универсальная алгебра разлагается в подпрямое произведение подпрямо неразложимых. Эквивалентное определение подпрямо неразложимой алгебры A состоит в том, что решётка $\text{Con } A$ либо тривиальна, либо содержит наименьший ненулевой элемент. В работе [11] были охарактеризованы подпрямо неразложимые полигоны над произвольной полугруппой и полностью описаны подпрямо неразложимые полигоны над прямоугольными связками. Наряду с дистрибутивностью и модулярностью можно рассматривать другие решёточные тождества и поставить вопрос о том, как устроены универсальные алгебры, у которых решётка конгруэнций удовлетворяет какому-либо нетривиальному решёточному тождеству. В работе [12] доказано, что для полигона X над конечной полугруппой решётка $\text{Con } X$ удовлетворяет нетривиальному тождеству в том и только том случае, если X конечен. Там же получен ряд результатов о выполнении тождества в решётках конгруэнций полигонов над вполне (0-)простыми полугруппами.

Одним из простейших видов универсальных алгебр являются *унары* – алгебры с одной унарной операцией. Пусть X – унар с операцией $f : X \rightarrow X$. Его можно рассматривать как полигон над свободной циклической полугруппой $S = \{a, a^2, a^3, \dots\}$, если считать, что $xa = f(x)$ при $x \in X$. Теории унаров посвящена статья [13] и монография [14], нерешённые задачи этой теории обсуждаются в работе [15]. Вопросы, которые нами обсуждались для полигонов над произвольными полугруппами (условия подпрямой неразложимости, модулярности,

дистрибутивности) для унаров давно решены. Среди последних результатов отметим следующие (Кожухов И.Б., Пряничников А.М., 2019, не опубликовано): 1) унар является проективным тогда и только тогда, когда он свободен (т.е. является прямой суммой лучей), 2) унар является плоским в том и только том случае, если он является прямой суммой лучей, прямых и циклов, 3) унар X инъективен тогда и только тогда, когда он имеет нуль (т.е. неподвижный элемент) и $Xa = X$, 4) решётка конгруэнций $\text{Con } X$ унара X удовлетворяет нетривиальному решёточному тождеству в том и только том случае, если он имеет лишь конечное число узлов и конечное число попарно не эквивалентных направлений (узлом мы называем такой элемент x , что $ua = va = x$ для некоторых u, v , удовлетворяющих условию $u \neq v \neq x \neq u$; направление – подмножество $\{x_1, x_2, \dots\}$ такое, что $x_{i+1}a = x_i$ при $i \geq 1$; направления эквивалентны, если одно из них является подмножеством другого).

Список литературы

1. Kilp M., Knauer U., Mikhalev A.V. Acts, monoids and categories. W. de Gruyter, Berlin – N.Y., 2000. – xvii + 529 p.
2. Глушков В.М. Абстрактная теория автоматов // Успехи матем. наук. – 1961. – Т. 16 (101), вып. 5. – С. 3–62.
3. Плоткин Б.И., Гринглаз Л.Я., Гварамия А.А. Элементы алгебраической теории автоматов. – М.: Высшая школа. – 1994. – 191 с.
4. Avdeyev A.Yu., Kozhukhov I.B. Acts over completely 0-simple semigroups // Acta Cybernetica. – 2000. – Т. 14, № 4. – P. 523–531.
5. Скорняков Л.А. Гомологическая классификация колец // Труды IV Всес. матем. съезда. Москва, 1961. Т. 2 – М. – 1964. – С. 22–32.
6. Скорняков Л.А. О гомологической классификации моноидов // Сиб. матем. ж. – 1969. – Т. 10, № 5. – С. 1139–1143.
7. Кожухов И.Б., Петриков А.О. Инъективные и проективные полигоны над вполне простыми полугруппами // Фундам. и прикл. матем. – 2016. – Т. 21, № 1. – С. 123–133.
8. Кожухов И.Б., Петриков А.О. // Инъективные и проективные полигоны над вполне 0-простой полугруппой // Чебышёвский сб. – 2016. – Т. 17, № 4. – С. 65–78.
9. Птахов Д.О., Степанова А.А. Решетки конгруэнций полигонов // Дальневост. матем. ж. – 2013. – Т. 13, № 1. – С. 107–115.
10. Кожухов И.Б., Пряничников А.М. Условия модулярности решётки конгруэнций полигона над прямоугольной связкой (Известия РАН, серия матем., в печати).
11. Кожухов И.Б., Халиуллина А.Р. Характеризация подпрямо неразложимых полигонов // Прикл. дискретн. матем. – 2015. – Т. 27, № 1. – С. 5–16.
12. Kozhukhov I.B., Pryanichnikov A.M. Acts with identities in congruence lattice (в печати).
13. Skornjakov L.A. Unars // in “Universal Algebra” (North Holland, Amsterdam) // Colloq. Math. Soc. J. Bolyai. – 1981. – № 29. – P. 735–745.
14. Jakubíková-Studenovská D., Pócs J. Monounary Algebras // D. – 2009. – Košice : Pavol Jozef Šafárik University (UPJŠ). – 304 p.
15. Карташов В.К. О некоторых результатах и нерешённых задачах теории унарных алгебр // Чебышёвский сб. – 2011. – Т. 12, № 2. – С. 18–26.

Механика твердого тела

УДК 531.38

ДИНАМИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА, ИМЕЮЩЕГО НЕПОДВИЖНУЮ ТОЧКУ

Горр Г.В., д-р физ.-мат. наук, профессор
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, ДНР
gvgorr@gmail.com

Введение. Доклад посвящен анализу результатов, полученных в задаче о движении твердого тела с неподвижной точкой. Он основан на материалах книг [1–5].

Цель. Рассмотрение основных результатов, полученных в динамике твердого тела.

Основная часть. Задача тяжелого твердого тела, поставленная в восемнадцатом веке Ж. Даламбером и Л. Эйлером, получила многочисленные обобщения. В математической постановке задача о движении системы связанных твердых тел сводится к интегрированию обыкновенных дифференциальных уравнений высокого порядка. Решение зависит не только от конструктивных параметров, характеризующих распределение масс и связи, но и от параметров, зависящих от начальных данных. Хотя с математической точки зрения уравнения движения рассматриваемых систем имеют свойства, которые обеспечивают существование и единственность решения задачи Коши, но построить конструктивное решение в общем случае не представляется возможным. Ряды А. Пуанкаре, которые описывают общее решение уравнений Эйлера–Пуассона, неудобны для практического использования, так как сходятся при весьма большом числе слагаемых. Поэтому они не получили обобщения в других задачах динамики.

Во многих задачах динамики твердого тела, имеющего неподвижную точку, уравнения движения имеют шестой порядок и допускают три первых интеграла. Следовательно, согласно теории К. Якоби, для их интегрирования в квадратурах достаточно найти дополнительный первый интеграл. Работы Л. Эйлера, Ж. Лагранжа, С.В. Ковалевской посвящены получению такого интеграла для уравнений Эйлера–Пуассона.

Задачи о движении гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил и твердого тела в идеальной несжимаемой жидкости описываются дифференциальными уравнениями, которые также имеют шестой порядок и допускают три первых интеграла. Дополнительные алгебраические интегралы этих уравнений найдены А. Клебшем,

Г. Кирхгофом (в более общем случае П.В. Харламовым), В.А. Стекловым (в более общем случае П.В. Харламовым и В.Н. Рубановским), А.М. Ляпуновым (в более общем случае П.В. Харламовым и В.Н. Рубановским). В данных случаях дополнительный интеграл имеет алгебраическую структуру. Алгебраические первые интегралы уравнений Эйлера–Пуассона изучали Е. Гюссон, П. Бургатти, Р. Лиувилль, А. Пуанкаре. Е. Гюссон доказал две теоремы: в первой теореме при рассмотрении рационального первого интеграла уравнений Эйлера–Пуассона он показал его существование только для динамически симметричных тел; во второй теореме установил, что если первый интеграл является полиномом по основным переменным, то он существует только в решениях Эйлера, Лагранжа и Ковалевской.

А.М. Ляпунов, дополнив результат С.В. Ковалевской, рассмотрел случай, когда однозначные функции, описывающие решение, имеют особые точки, отличные от полюсов (например, существенно особые точки). В.В. Козлов рассмотрел более общую задачу: задачу о существовании у уравнений Эйлера–Пуассона аналитических первых интегралов. Он показал, что дополнительных интегралов такого вида не существует.

В.В. Козлов и Д.А. Онищенко для дифференциальных уравнений Кирхгофа–Пуассона, которые описывают задачу о движении тела в жидкости и задачу о движении тела под действием потенциальных и гироскопических сил, доказали неинтегрируемость уравнений в квадратурах.

Во многих случаях нахождение новых решений связано с новыми формами уравнений динамики твердого тела. Начало таким исследованиям положено В. Гессом, А.Д. Билимовичем, Н. Ковалевским, С.А. Чаплыгиным. Как показала история развития динамики твердого тела, указанные результаты В. Гесса и А.Д. Билимовича не получили широкого применения, а уравнения Н. Ковалевского и С.А. Чаплыгина носили частный характер, так как получены при определенных ограничениях на параметры уравнений Эйлера–Пуассона. П.В. Харламов применил новый способ понижения порядка уравнений Эйлера–Пуассона.

Универсальным методом построения новых решений уравнений динамики служит метод инвариантных соотношений (ИС). Вначале А. Пуанкаре и Т. Леви-Чивита исследовали ИС для систем произвольного вида. При этом А. Пуанкаре дал только определение системы ИС, а Т. Леви-Чивита предложил не только определение, но и получил уравнение на функцию, задающую данное ИС. П.В. Харламов показал, что вывод С.А. Чаплыгина об условиях существования линейных ИС для уравнений Эйлера–Пуассона требует уточнения, так как линейные ИС класса Д. Гриоли упущены. Для получения условий существования класса Д. Гриоли была использована вторая производная от заданного ИС в силу

уравнений движения. В дальнейшем П.В. Харламов рассмотрел ИС для общей автономной системы дифференциальных уравнений.

Задачу об интегрировании уравнений динамики на ИС изучали С.А. Чаплыгин, Г.В. Горр, Е.К. Щетинина, А.В. Мазнев. Например, С.А. Чаплыгин предполагал, что если уравнения движения допускают определенное количество ИС и некоторое количество первых интегралов, то при выполнении одного условия уравнения движения интегрируемы по Якоби. А.В. Мазнев дополнил результат С.А. Чаплыгина, указав другие условия существования интегрируемости уравнений динамики на ИС класса С.А. Чаплыгина

Г.В. Горр, Е.К. Щетинина рассмотрели интегрирование уравнений динамики твердого тела на ИС класса Т. Леви–Чивиты. Они доказали два утверждения. Например, второе утверждение состоит в том, что если n дифференциальных уравнений допускают $n - 4$ первых интеграла и два ИС, то при условии равенства нулю следа определенной матрицы они интегрируемы в квадратурах.

Заключение. В последние годы в динамике твердого тела интенсивно изучается задача о движении гиростата с переменным гиростатическим моментом [5]. Моделирование движений тела-носителя в этом случае приводит к системе неавтономных дифференциальных уравнений. В связи с этим развитие метода ИС, предложенного П.В. Харламовым для автономных дифференциальных уравнений, представляется актуальным и для неавтономных систем. А.М. Ковалев, Г.В. Горр и В.Н. Неспирный получили необходимые и достаточные условия существования ИС неавтономных дифференциальных уравнений. Их применение позволит получить новые решения уравнений движения гиростата с переменным гиростатическим моментом.

Список литературы

1. Горр Г.В. Классические задачи динамики твердого тела / Горр Г.В., Кудряшова Л.В., Степанова Л.А. – К.: Наук. думка, 1978. – 294 с.
2. Харламов П.В. Очерки об основаниях механики. Мифы, заблуждения и ошибки / Харламов П.В. – К.: Наук. думка, 1995. – 407 с.
3. Горр Г.В. Классические задачи динамики твердого тела / Гашененко И.Н., Горр Г.В., Ковалев А.М. – К.: Наук. думка, 2012. – 400 с.
4. Горр Г.В. Инвариантные соотношения уравнений динамики твердого тела (теория, результаты, комментарии) / Горр Г.В. – М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017. – 424 с.
5. Горр Г.В. Движение гиростата с переменным гиростатическим моментом / Горр Г.В., Мазнев А.В., Котов Г.А. – Донецк: ГУ «ИПММ», 2018. – 265 с.

КЛАССИФИКАЦИЯ ИНВАРИАНТНЫХ СООТНОШЕНИЙ В РЕШЕНИЯХ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ГИРОСТАТА

Балаклицкая Т.В.,

Горр Г.В., д-р физ.-мат. наук, профессор

ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, ДНР

gvgorr@gmail.com

Введение. Данный доклад посвящен анализу свойств первых интегралов и частных решений уравнений движения гиростата с неподвижной точкой. Он основан на результатах книги [1].

Цель. Выполнить классификацию инвариантных соотношений (ИС) уравнений движения.

Основная часть. В решении Н.Е. Жуковского, которое является обобщением решения Л. Эйлера, имеют место два квадратичных по компонентам угловой скорости первых интеграла.

Решение Ж.Л. Лагранжа характеризуется одним линейным по компонентам угловой скорости интегралом. Дать характеристику второго ИС невозможно, так как плоский годограф угловой скорости является трансцендентной кривой.

В решении Х.М. Яхьи дополнительный первый интеграл – многочлен четвертого порядка по всем переменным задачи. Этот интеграл служит обобщением первого интеграла, указанного С.В. Ковалевской. Е.И. Харламова показала, что в решении Х.М. Яхьи после исключения компонент вектора вертикали в первых интегралах существует многочлен 12-го порядка на компоненты вектора угловой скорости. Поэтому в приводимой здесь классификации порядок ИС равен двенадцати. Из результата Е.И. Харламовой вытекает, что порядок ИС в решении С.В. Ковалевской (или, точнее, первого интеграла) на компоненты вектора угловой скорости тоже равен двенадцати. Исследование свойства данного ИС в решении С.В. Ковалевской проводила Л.А. Степанова. Однако в статье (1971 г.) она указала, что порядок данного ИС равен шестнадцати. И только после опубликования работы В.М. Старжинского (1990 г.), который получил двенадцатый порядок многочлена на компоненты угловой скорости в решении С.В. Ковалевской, Л.А. Степанова устранила свою ошибку.

Решение Л.Н. Сретенского характеризуется линейным ИС. Это решение является обобщением решения В. Гесса уравнений движения тяжелого твердого тела с неподвижной точкой. Указать порядок второго ИС в указанном решении невозможно, так как годограф вектора угловой скорости – трансцендентная кривая. Второе решение Л.Н. Сретенского

обобщает решения Д.Н. Горячева–С.А. Чаплыгина. Л.А. Степанова, исключив компоненты вектора вертикали в решении Л.Н. Сретенского, получила многочлен восьмого порядка.

Первое решение П.В. Харламова является обобщением решения Д.К. Бобылева–В.А. Стеклова. Это решение характеризуется двумя линейными ИС.

В предположении, что центр масс гиростата лежит в главной плоскости эллипсоида инерции, Е.И. Харламова получила два решения уравнений движения: первое решение является обобщением решения Д. Гриоли, а второе решение является обобщением решения, которое Е.И. Харламова построила для уравнений Эйлера–Пуассона классической задачи. Таким образом, в указанных решениях Е.И. Харламовой одно ИС – многочлен первого порядка, другое ИС – многочлен второго порядка.

Решения П.В. Харламова, в которых первое ИС – многочлен второго порядка, а второе ИС имеет второй или третий порядок, являются обобщениями решений В.А. Стеклова или Н. Ковалевского соответственно.

Второй класс квадратичных ИС относится тоже к случаю, когда центр масс гиростата лежит на главной оси, но гиростатический момент не принадлежит этой оси. Принимая данные условия, А.И. Докшевич построил решение для динамически симметричного гиростата и гиростатического момента, который ортогонален этой оси. В данном решении А.И. Докшевича первое ИС – многочлен второго порядка; второе ИС – многочлен четвертого порядка.

Решение Е.И. Харламовой, П.В. Харламова характеризуется условиями: центр масс гиростата лежит на главной оси, гиростатический момент лежит в плоскости, ортогональной барицентрической оси, моменты инерции удовлетворяют условию Н. Ковалевского. ИС в этом решении – многочлены по переменным кинетического момента: первое ИС имеет второй порядок, второе ИС – третий порядок.

Одно из решений П.В. Харламова получено при условиях: центр масс гиростата лежит на главной оси; гиростатический момент принадлежит главной оси, ортогональной барицентрической оси; главные моменты инерции удовлетворяют условиям С.В. Ковалевской. Показано, что оно характеризуется двумя полиномами второго порядка по компонентам кинетического момента.

Отметим, что при условии, что центр масс гиростата лежит в главной плоскости эллипсоида инерции, известно только решение П.В. Харламова, обобщающее решение Д.К. Бобылева–В.А. Стеклова, и решения Е.И. Харламовой, которые являются обобщениями решения А.И. Докшевича, полученного при условиях Гесса, и решения Гриоли. В докладе установлено, что первое решение Е.И. Харламовой характеризуется двумя ИС, имеющими второй и четвертый порядок полиномов по компонентам

кинетического момента. Решение А.И. Докшевича определяется двумя полиномиальными ИС второго порядка по тем же переменным.

В докладе рассмотрены решения, для которых ИС является полиномом степени выше второй. Решение Г.В. Мозалевской получено при условии, что центр масс гиростата лежит на главной оси, а гиростатический момент ортогонален этой оси. Оно характеризуется двумя ИС: многочленами четвертого порядка по компонентам кинетического момента.

В докладе проведен анализ первого решения Е.И. Харламовой–Г.В. Мозалевской, полученного для случая, когда решение задано в параметрическом виде, содержащем тригонометрические функции вспомогательной переменной. Данное решение является обобщением решения Б.И. Коносевича–Е.В. Поздняковича классической задачи о движении тяжелого гиростата. Показано, что первое решение Е.И. Харламовой–Г.В. Мозалевской характеризуется двумя полиномиальными ИС, имеющими четвертый порядок.

Второе решение Е.И. Харламовой, Г.В. Мозалевской в тригонометрической форме не имеет аналога в классической задаче, оно описывается двумя полиномиальными ИС четвертого порядка.

Рассмотрено решение уравнений движения гиростата в экспоненциальных функциях. Оно также получено Е.И. Харламовой и Г.В. Мозалевской. Инвариантные соотношения в этом решении представляют собой многочлены по переменным кинетического момента, которые имеют четвертый порядок.

Рассмотрены ИС в решениях С.А. Чаплыгина и А.И. Докшевича задачи о движении тяжелого твердого тела, которая характеризуется условием $\lambda = 0$. Ранее они не рассматривались, так как для них не известны обобщения на случай $\lambda \neq 0$.

Показано, что в решении С.А. Чаплыгина первое ИС – многочлен второго порядка, второе ИС – многочлен шестого порядка. В решении А.И. Докшевича ИС имеют соответственно четвертый и шестой порядок.

Заключение. Из приведенных здесь выводов следует, что построение частных решений уравнений – чрезвычайно сложная задача. Поэтому каждый из авторов решений применял свой подход при построении решения. В книге [1] проведен большой анализ работ, посвященных получению новых решений уравнений Эйлера–Пуассона. Часть этих работ оказались ошибочными. Доказательство выполнено в полном объеме, а тематика рассмотрения этих результатов не является целью исследования данного доклада.

Список литературы

1. Горр Г.В. Инвариантные соотношения уравнений динамики твердого тела (теория, результаты, комментарии) / Горр Г.В. – М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017. – 424 с.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ОСИ СИММЕТРИИ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО СНАРЯДА

Коносевич Б.И., д-р физ.-мат. наук,
Коносевич Ю.Б., канд. физ.-мат. наук,
Мозалевская Г.В., канд. физ.-мат. наук

ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, ДНР
konos@iamm.su

В 1966 году американские баллистики Р. Лиеске и М. Рейтер предложили упрощенную математическую модель [1], которая позволяет в десятки раз уменьшить вычислительные затраты при определении траектории полета снаряда, обеспечивая при этом достаточно высокую точность вычисления его траектории и, в частности, бокового отклонения. Ее называют модифицированной моделью траектории снаряда как материальной точки, или *m*-моделью. Эта модель основана на полученной ее авторами физически мотивированной неявной формуле, определяющей положение динамического равновесия оси симметрии снаряда. Она официально рекомендована в НАТО для баллистических расчетов [2].

Известен другой способ построения *m*-модели, который основан на определении положения динамического равновесия как приближенного квазистационарного решения дифференциальных уравнений углового движения оси симметрии снаряда [3].

В данной работе показано, что определение положения динамического равновесия по Лиеске и Рейтер отличается от определения этого положения как квазистационарного решения уравнений углового движения оси симметрии снаряда отсутствием коэффициента экваториального демпфирующего момента.

Список литературы

1. Lieske R.F., Reiter M.L. Equations of motion for a modified point mass trajectory // Ballistic research laboratory report. – 1966. – No. 1314. – 25 p.
2. The Modified Point Mass and Five Degrees of Freedom Trajectory Models. Ed. 3. – STANAG 4355. – 2009. – 95 p.
3. Konosevich B., Konosevich Yu. Error estimate of the modified point-mass trajectory model of an artillery shell // Nonlinear Dynamics. – 2017. – **90**, no. 1. – P. 203-221. – DOI 10.1007/s11071-017-3655-2

УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ОДНОГО КЛАССА ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА-ПУАССОНА

Ткаченко Д.Н., канд. физ.-мат. наук,
Институт прикладной математики и механики, г. Донецк, ДНР
dntkachenko@mail.ru

Введение. Уравнения Эйлера-Пуассона, моделирующие движение тяжелого твердого тела с неподвижной точкой, легли в основу формирования новых задач аналитической механики. Обзор результатов, полученных в исследовании классической задачи, отражен в многочисленных монографиях [1-4]. Уравнения Эйлера-Пуассона в общем случае неинтегрируемы в квадратурах [5, 6]. Для изучения свойств движения тела применялись различные методы интегрирования этих уравнений. Среди этих методов особую роль в построении новых решений играют редуцированные уравнения динамики твердого тела [2]. Наибольшее количество частных решений уравнений Эйлера-Пуассона получено в случае, когда центр масс тела лежит на главной оси эллипсоида инерции.

Целью данного доклада является рассмотрение условий существования полиномиальных решений уравнений Эйлера-Пуассона, которые характеризуются решениями В.А. Стеклова, Н. Ковалевского и С.А. Чаплыгина [7-8]. В работе Г.В. Горра [9] рассмотрен случай, когда тело не является динамически симметричным. В данной работе приведено исследование полиномиальных решений в случае динамически симметричного тела и показано, что уравнения Н. Ковалевского допускают только решения указанных выше авторов.

Основная часть. П.В. Харламов показал [10], что уравнения Эйлера-Пуассона могут быть приведены к уравнениям Н. Ковалевского [7], которые представляют собой систему двух дифференциальных уравнений второго порядка. При этом, основными переменными являются квадраты проекций вектора угловой скорости на небарицентрические оси, а вспомогательной переменной служит проекция вектора угловой скорости на барицентрическую ось. Запишем уравнения Н. Ковалевского в виде [9]:

$$\begin{aligned}
 & [2R(p) + (A_1 - A_3)\sigma^6] \left(\sigma \frac{d^2 Q(\sigma)}{d\sigma^2} - 2 \frac{dQ(\sigma)}{d\sigma} \right) + \\
 & + \sigma \frac{dQ(\sigma)}{d\sigma} \left[\frac{dR(\sigma)}{d\sigma} + 3(A_1 - A_3)\sigma^5 \right] + 3A_2\sigma^6 \frac{dR(\sigma)}{d\sigma} - \\
 & - \frac{9A_1A_2}{A_2 - A_3} \sigma^5 (Q(p) - R(p)) + 9A_2E\sigma^5 = 0,
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
& [2Q(p) + (A_1 - A_2)\sigma^6] \left(\sigma \frac{d^2 R(\sigma)}{d\sigma^2} - 2 \frac{dR(\sigma)}{d\sigma} \right) + \\
& + \sigma \frac{dR(\sigma)}{d\sigma} \left[\frac{dQ(\sigma)}{d\sigma} + 3(A_1 - A_2)\sigma^5 \right] + 3A_3\sigma^6 \frac{dQ(\sigma)}{d\sigma} - \\
& - \frac{9A_1A_3}{A_2 - A_3} \sigma^5 (Q(p) - R(p)) + 9A_3E\sigma^5 = 0,
\end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
& A_2(A_2 - A_3) [2Q(\sigma) + (A_1 - A_2)\sigma^6] \left(\frac{dR(\sigma)}{d\sigma} \right)^2 + \\
& + A_3(A_3 - A_2) [2R(\sigma) + (A_1 - A_3)\sigma^6] \left(\frac{dQ(\sigma)}{d\sigma} \right)^2 + \\
& + 9A_1A_2A_3\sigma^4 (Q(p) - R(p) + \frac{A_3 - A_2}{A_1} E)^2 = \frac{9A_2A_3(A_2 - A_3)^2}{A_1} s^2 \sigma^4.
\end{aligned} \tag{3}$$

Г.В. Горр [9] исследовал условия существования у уравнений (1)–(3) решений полиномиального вида

$$Q(\sigma) = a_0 + a_1\sigma + \dots + a_m\sigma^m, \quad R(\sigma) = b_0 + b_1\sigma + \dots + b_n\sigma^n. \tag{4}$$

Он показал, что в (7) максимальные значения m и n таковы: $m=6$, $n=12$; то есть

$$Q(\sigma) = a_0 + a_1\sigma + \dots + a_6\sigma^6, \quad R(\sigma) = b_0 + b_1\sigma + \dots + b_{12}\sigma^{12}. \tag{5}$$

В [9] так же показано, что решением класса (5) уравнений (1)–(3) может быть только частное решение С.А. Чаплыгина.

В докладе исследованы условия существования решений (5) при условии $A_1 = A_2$. Применим полуобратный метод нахождения решения (5) уравнений (1)–(3), то есть потребуем, чтобы при подстановке полиномов (5) в (1)–(3) эти уравнения были тождественны по σ . Уравнение (3) служит для определения параметра s , который должен быть отличен от нуля (в противном случае имеем случай Эйлера). После нахождения величин a_i ($i = \overline{0,6}$), b_i ($i = \overline{0,12}$) необходимо провести исследование условий действительности найденного решения, которое состоит в рассмотрении функций $q^2(\sigma)$, $r^2(\sigma)$ из соотношений (2) при $A_1 = A_2$

$$q^2(\sigma) = -\left(\sigma^6 + \frac{2R(\sigma)}{A_1 - A_3}\right), \quad r^2(\sigma) = \frac{2A_1Q(\sigma)}{A_3(A_1 - A_3)}.$$

Отсюда следует, что $Q(\sigma)R(\sigma) \leq 0$, то есть должны существовать такие $\sigma \in [\sigma_1, \sigma_2]$, при которых $Q(\sigma)$ и $R(\sigma)$ имеют разные знаки.

Результат полного исследования системы (1)–(3) в виде всех возможных наборов значений параметров решения (5) представлен в [11]. Там показано, что для класса полиномиальных решений Стеклова–Ковалевского–Горячева имеет место только частный случай решения С.В. Ковалевской, который определяется условием $A_1 = A_2 = 2A_3$, а для класса С.А. Чаплыгина – частный случай решения Д. Н. Горячева, который характеризуется условием $A_1 = A_2 = 4A_3$.

Список литературы

1. Горр Г.В., Кудряшова Л.В., Степанова Л.А. Классические задачи динамики твердого тела. – Киев: Наук. думка. – 1978. – 296 с.
2. Гашененко И.Н., Горр Г.В., Ковалев А.М. Классические задачи динамики твердого тела. – Киев: Наук. думка, – 2012. – 401 с.
3. Харламов П.В. Лекции по динамике твердого тела. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. университета. – 1965. – 221 с.
4. Харламова Е.И., Мозалевская Г.В. Интегро-дифференциальное уравнений динамики твердого тела. – Киев.: Наук. думка. – 1986. – 296 с.
5. Зиглин С.Л. Ветвление решений и несуществование первых интегралов в гамильтоновых системах // Функц. анализ и его приложения. – 1982. – 16, №3. – С. 30-41.
6. Зиглин С.Л. Ветвление решений и несуществование первых интегралов в гамильтоновых системах // Функц. анализ и его приложения. – 1983. – 17, №1. – С. 8-23.
7. Kowalewski N. Eine neue partikuläre Lösung der Differentialgleichungen der Bewegung eines schweren starren Körpers um einen festen Punkt // Math. Ann. – 1908. – В.65. – Р. 528-537.
8. Стеклов В.А. Новое частное решение дифференциальных уравнений движения тяжелого твердого тела, имеющего неподвижную точку // Тр. отд. физ.-мат. наук о-ва любителей естествознания. – 1899. – Т.10, вып.1. – С.1-3.
9. Горр Г.В. Об алгебраическом инвариантном соотношении уравнений движения тела, имеющего неподвижную точку // Механика твердого тела. – 1969. – Вып. 1 – С. 89-102.
10. Харламов П.В. Полиномиальные решения уравнений движения тела, имеющего неподвижную точку // Прикл. математика и механика. – 1963. – 20, Вып. 1. – С. 26-34.
11. Ткаченко Д.Н. Об одном классе полиномиальных решений уравнений Эйлера-Пуассона // Вестник ДонНУ. Сер.А. – 2017. – Вып. 3. – С. 98-105.

УДК 551.594, 51-7, 519.6

УСЛОВИЯ ВСЮДУ-ОПТИМАЛЬНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОДНОЙ СИСТЕМОЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Клово А.Г., канд. физ.-мат. наук, доцент,

Гончаров А.В.

Институт компьютерных технологий и информационной безопасности
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону, РФ
agklovo@sfedu.ru

1. Постановка одной задачи оптимального управления. Рассмотрим уравнение свободных колебаний струны

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (1)$$

в пространственной области $0 \leq x \leq 1$ при $t > 0$. Величина $u(t, x)$ является отклонением точки струны с координатой x в момент времени t . Пусть заданы начальные условия профиля струны

$$u|_{t=0} = \varphi(x), \quad \frac{\partial u}{\partial t}|_{t=0} = \psi(x) \quad (2)$$

при $x \in [0; 1]$ и граничные условия

$$u|_{x=0} = 0, \quad u|_{x=1} = p(t). \quad (3)$$

Функцию $p(t)$ мы рассмотрим как управляющую, обеспечивающую минимум некоторого функционала на временном промежутке $t \in [0; T]$. Мы предполагаем выполнение условий гладкости и согласования дополнительных условий, обеспечивающих существование классического или обобщенного решения ([1]).

Целью работы исследование, в каких случаях можно синтезировать оптимальное управление. То есть, если управление $p_1(t)$ оптимально на отрезке $[0; t_1]$, а управление $p_2(t)$ оптимально на отрезке $[0; t_2]$ при $t_2 > t_1$, то при каких обстоятельствах они будут совпадать на отрезке $[0; t_1]$?

2. Пример отсутствия всюду-оптимальности. Рассмотрим задачу (1)–(3) в области $D_T = (0; T) \times (0; 1)$, если $\varphi(x) = 0$, $\psi(x) = \pi \sin \pi x$. При $p(t) = 0$ решением этой задачи является функция $u_1(t, x) = \sin \pi x \cdot \sin \pi t$, а при нулевых начальных условиях $\varphi(x) = \psi(x) = 0$ и при $t \leq 1$ решение

задачи (1)–(3) представляется в виде $u_2(t; x) = \begin{cases} 0, & t + x \leq 1, \\ p(t + x - 1), & t + x > 1. \end{cases}$ В

итоге на временном промежутке $t \in [0; 1]$ решение задачи (1)–(3) представим в виде $u(t; x) = u_1(t; x) + u_2(t; x)$.

Заметим, в частности, что в этом случае при $T = 0,5$ для решения поставленной задачи выполнены соотношения

$$u(0,5; x) = \begin{cases} \sin \pi x, & x \leq 0,5 \\ \sin \pi x + p(x - 0,5), & x > 0,5 \end{cases}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}|_{t=0,5} = \begin{cases} 0, & x \leq 0,5 \\ p'(x - 0,5), & x > 0,5 \end{cases} \quad (4)$$

и при $T = 1$

$$u(1; x) = p(x), \quad \frac{\partial u}{\partial t}|_{t=1} = p'(x) - \pi \sin \pi x. \quad (5)$$

Следуя работе [2], найдем оптимальное управление, минимизирующее «традиционный» функционал

$$J_1(p) = \int_0^1 \left((u(T, x))^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=T} \right)^2 \right) dx. \quad (6)$$

При $T = 0,5$ после некоторых преобразований мы приходим к необходимости минимизации функционала

$$\int_0^{0,5} \left((\cos \pi t + p(t))^2 + (p'(t))^2 \right) dt.$$

Используя уравнение Эйлера-Лагранжа и условия согласования, получим задачу Коши для нахождения оптимального управления:

$$p''(t) - p(t) = \cos \pi t, \quad p(0) = p'(0) = 0,$$

имеющую решение

$$p_{1;0,5}(t) = \frac{0,5(e^t + e^{-t}) - \cos \pi t}{\pi^2 + 1}.$$

При $T = 1$ надо минимизировать функционал

$$\int_0^1 \left((p(t))^2 + (p'(t) - \pi \sin \pi t)^2 \right) dt,$$

решив задачу Коши $p'' - p = \pi^2 \cos \pi t$, $p(0) = p'(0) = 0$. В этом случае

$$p_{1;1}(t) = \frac{0,5(e^t + e^{-t}) - \pi^2 \cos \pi t}{\pi^2 + 1},$$

и мы видим, что управления $p_{1;0,5}(t)$ и $p_{1;1}(t)$ отличаются друг от друга. Продолжая исследования в работе [3] и других исследованиях, изучим возможность синтеза оптимального управления.

3. Оптимизация при модифицированном функционале. Будем теперь искать оптимальное управление, минимизирующее функционал

$$J_2(p) = \int_0^1 \left(\left(\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{t=T} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=T} \right)^2 \right) dx. \quad (7)$$

При $T = 0,5$ мы приходим к минимизации функционала

$$\int_0^{0,5} \left((-\pi \sin \pi t + p'(t))^2 + (p'(t))^2 \right) dt,$$

приводящего к задачи Коши $2p''(t) = \pi^2 \cos \pi t$, $p(0) = p'(0) = 0$ и к оптимальному управлению

$$p_{2;0,5}(t) = \frac{1 - \cos \pi t}{2}.$$

При $T = 1$ надо минимизировать функционал

$$\int_0^1 \left((p'(t))^2 + (p'(t) - \pi \sin \pi t)^2 \right) dt$$

и мы приходим к тому же оптимальному управлению $p_{2;1}(t) = p_{2;0,5}(t)$.

4. Исследование возможности всюду-оптимальности управления
Пусть $p(t)$ является произвольным допустимым управлением на отрезке $[0; T]$ ($T \leq 2$). Рассмотрим также фиксированное управление $p^*(t)$ и соответствующие этим двум управлениям решения задачи (1)–(3) $u(t, x)$ и $u^*(t, x)$.

Теорема. Управление $p^*(t)$ будет оптимальным, реализующим минимум функционала (7), тогда и только тогда, когда для билинейного функционала

$$K_T(u^*, u) = \int_0^1 \left(\frac{\partial u^*}{\partial t} \cdot \left(\frac{\partial u^*}{\partial t} - \frac{\partial u}{\partial t} \right) + \frac{\partial u^*}{\partial x} \cdot \left(\frac{\partial u^*}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right) \Big|_{t=T} dx, \quad (8)$$

выполнено неравенство $K_T(u^*, u) \leq 0$.

Можно доказать, что управление $p^*(t)$ является всюду-оптимальным.

Список литературы

1. Ладыженская О.А. Смешанная задача для гиперболических уравнений. – М.: Гостехиздат. – 1953. – 282 с.
2. Латтес Р., Лионс Ж.-Л. Метод квазиобращения и его приложения. М.: Мир. – 1970. – 336 с.
3. Ильин В.А., Моисеев Е.И. Оптимизация граничных управлений колебаниями струны // УМН. – 2005. 60:6(366). – С. 89–114 (Russian Math. Surveys, 60:6 (2005), 1093–1119).

УДК 531.38; 531.39

ДИНАМИКА ГИРОСТАТА С ПЕРЕМЕННЫМ ГИРОСТАТИЧЕСКИМ МОМЕНТОМ

Котов Г. А., канд. физ.-мат. наук

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
г. Макеевка, ДНР
kotov_ga@mail.ru

Цель. Доклад посвящен анализу результатов, полученных в задаче о движении гиростата с переменным гиростатическим моментом, и основан на материалах книги [1].

Введение. При исследовании движений гиростата, имеющего неподвижную точку, возникают два самостоятельных направления: задача

о движении гиростата с постоянным гиростатическим моментом и задача о движении гиростата с переменным гиростатическим моментом. В задаче о движении гиростата с постоянным гиростатическим моментом получены многочисленные результаты, обзор которых приведен в [2].

Уравнения движения гиростата с переменным гиростатическим моментом под действием потенциальных и гироскопических сил имеют вид

$$A\dot{\bar{\omega}} = -\dot{\bar{\lambda}}(t) + (A\bar{\omega} + \bar{\lambda}(t) - B\bar{v}) \times \bar{\omega} + \bar{v} \times (C\bar{v} - \bar{s}),$$

$$\dot{\bar{v}} = \bar{v} \times \bar{\omega}, \quad (1)$$

где $\bar{\omega}$ – угловая скорость тела-носителя, \bar{v} – вектор симметрии силовых полей, $\bar{\lambda}(t)$ – вектор переменного гиростатического момента, \bar{s} – вектор, сонаправленный с вектором обобщенного центра масс гиростата, A – тензор инерции, B , C – симметричные матрицы третьего порядка, характеризующие потенциальные и гироскопические силы [1].

Уравнения (1) характеризуются наличием только двух первых интегралов: геометрического и интеграла момента количества движения

$$\bar{v} \cdot \bar{v} = 1, \quad (A\bar{\omega} + \bar{\lambda}(t)) \cdot \bar{v} - \frac{1}{2}(B\bar{v} \cdot \bar{v}) = k. \quad (2)$$

Интеграл энергии в задаче о движении гиростата с переменным гиростатическим моментом в общем случае не существует.

Таким образом, система дифференциальных уравнений (1), описывающая движение гиростата с переменным гиростатическим моментом, неавтономна и при отсутствии закона изменения гиростатического момента во времени еще и незамкнута. Отыскание решений уравнений (1) усложняется тем обстоятельством, что даже при нахождении дополнительного первого интеграла вопрос получения решения уравнений (1) в квадратурах остается открытым в силу невозможности применения к этим уравнениям теории Якоби об интегрировании уравнений динамики твердого тела с первыми интегралами. Поэтому актуальна задача исследования условий существования программных движений на основе метода инвариантных соотношений, указанного в [2].

В докладе переменный гиростатический момент рассматривается в двух постановках. В первом случае абсолютно твердое тело-носитель произвольной формы, имеющее неподвижную точку, несет на себе один вращающийся с переменной скоростью осесимметричный ротор. Во втором случае на теле-носителе закреплены два осесимметричных ротора, законы вращения которых зависят от времени, при этом оси вращения этих роторов ортогональны.

Математически данные условия записываются в виде [1]:

1) для случая одного несомого ротора $\bar{\lambda}(t) = \lambda(t)\bar{\alpha}$;

2) для случая двух несомых тел $\bar{\lambda}(t) = \lambda_1(t)\bar{\alpha} + \lambda_2(t)\bar{\beta}$, где векторы $\bar{\alpha}$ и $\bar{\beta}$ являются единичными и ортогональными.

В качестве динамических моделей движения гиростата рассматривается задача о движении гиростата с переменным гиростатическим моментом под действием силы тяжести и задача о движении гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил. При этом полагается, что в отличие от тела-носителя роторы не намагничены и не несут электрических зарядов.

Незамкнутость системы (1) приводит к необходимости задания программных движений, например, прецессионных, или движений с дополнительными инвариантными соотношениями. При известных программных движениях основной подход к исследованию уравнений (1) заключается в редуцировании исходных уравнений к системе меньшего порядка с последующим интегрированием и анализом свойств полученных решений.

Основной метод исследования программных движений гиростата заключается в рассмотрении динамических уравнений (1) в базисе \bar{a} , \bar{v} и $\bar{v} \times \bar{a}$ в случае гиростата с одним закрепленным ротором, и в базисе $\bar{\alpha}$, $\bar{\beta}$, $\bar{\alpha} \times \bar{\beta}$ для гиростата с двумя несомыми роторами. Из постановки задачи следует, что базис \bar{a} , \bar{v} и $\bar{v} \times \bar{a}$ ортонормированный только в частном случае при угле нутации 90^0 . Базис $\bar{\alpha}$, $\bar{\beta}$, $\bar{\alpha} \times \bar{\beta}$ ортонормированный, что позволяет получить редуцированные дифференциальные уравнения в достаточно простой форме. В частности, проекция уравнения (1) на вектор $\bar{\alpha} \times \bar{\beta}$ не содержит производных от компонент гиростатического момента, что, при использовании интеграла момента количества движения из (2), приводит к возможности алгебраически определить компоненты вектора переменного гиростатического момента.

В [1] приведены различные методы решения редуцированных уравнений с помощью модифицированного метода инвариантных соотношений [3] и с помощью первых интегралов системы (1). Получены многие классы прецессионных и других программных движений гиростата в полях сложной структуры, характеризующиеся различными зависимостями скоростей прецессии и собственного вращения от времени, выраженные как элементарными, так и эллиптическими функциями.

Отдельно исследованы вопросы нахождения первых интегралов уравнений динамики твердого тела на инвариантных соотношениях.

Заключение. Для дальнейшего развития подходов и результатов, изложенных в [1], целесообразно применение в кинематическом истолковании полученных классов решений уравнений (1) модифицированного метода годографов, разработанного Г. В. Горром. Этот подход предоставляет возможность записи формулы для полярного угла неподвижного годографа в более простой, по сравнению с формулой П. В. Харламова, форме [4].

Список литературы

1. Горр Г. В. Движение гиростата с переменным гиростатическим моментом. [монография] / Горр Г. В., Мазнев А. В., Котов Г. А. – Донецк: ГУ «ИПММ», 2018. – 265 с.
2. Горр Г. В. Инвариантные соотношения уравнений динамики твердого тела (теория, результаты, комментарии) / Г. В. Горр. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, - 2017. – 424 с.
3. Ковалев А.М. Инвариантные соотношения неавтономных систем дифференциальных уравнений с приложением в механике / А. М. Ковалев, Г. В. Горр, В. Н. Неспирный // Механика твердого тела. – 2013. – вып. 43. – С. 3-18.
4. Горр Г. В. О кинематическом истолковании движения тела в частном случае решения Д.Н. Горячева-С.А. Чаплыгина / Г. В. Горр, Д.А. Данилюк, Д.Н. Ткаченко // Журнал теоретической и прикладной механики (ДонНУ). – 2018. – С. 19-32.

УДК 531.38; 531.39

О ДВУХ ЛИНЕЙНЫХ ИНВАРИАНТНЫХ СООТНОШЕНИЯХ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ГИРОСТАТА В ПОЛЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

*Мазнев А.В.*¹, д-р физ.-мат. наук, доцент,
*Белоконь Т.В.*²

¹ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
aleksandr_maznev@rambler.ru

²ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли
имени М.Туган-Барановского», г. Донецк, ДНР
V.Tatyana13@mail.ru

Доклад посвящен исследованию условий существования двух линейных инвариантных соотношений уравнений движения твердого тела вокруг неподвижной точки в поле силы тяжести.

Введение. Задача о движении гиростата с переменным гиростатическим моментом описывается уравнениями Кирхгофа-Пуассона [1].

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{x} \times \boldsymbol{\omega} + \lambda(\boldsymbol{\alpha} \times \boldsymbol{\omega}) - L\boldsymbol{\alpha} + \boldsymbol{\omega} \times B\mathbf{v} + \mathbf{s} \times \mathbf{v} + \mathbf{v} \times C\mathbf{v}, \\ \dot{\mathbf{v}} &= \mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}, \quad \dot{\lambda} = L.\end{aligned}\tag{1}$$

Здесь $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3)$ – момент количества движения тела-носителя, который связан с вектором угловой скорости соотношением $\boldsymbol{\omega} = a\mathbf{x}$ (a – гирационный тензор). Отличие задачи о движении гиростата с переменным гиростатическим моментом от задачи о движении гиростата с постоянным гиростатическим моментом состоит в том, что в этих задачах разные

свойства взаимодействия тела-носителя и носимого тела. Эти свойства математически определяются дифференциальным уравнением $\dot{\lambda}(t) = L(t)$, где функция $L(t)$ либо задана, либо подлежит определению.

Уравнения (1) допускают два первых интеграла

$$\mathbf{v} \cdot \mathbf{v} = 1, \quad (\mathbf{x} + \boldsymbol{\lambda}) \cdot \mathbf{v} - \frac{1}{2}(B\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}) = k, \quad (2)$$

где k – произвольная постоянная.

Как показали В.В.Козлов и Д.А. Онищенко[2], эти уравнения не интегрируются в квадратурах. В связи с этим актуальным направлением исследования свойств движения тела вокруг неподвижной точки является направление, которое основано на построении частных решений уравнений движения гиростата на программных инвариантных соотношениях[3].

Основная часть. Зададим для уравнений (1) два линейных инвариантных соотношения

$$x_1 = b, \quad x_2 = c, \quad (3)$$

где b и c – постоянные. Вид соотношений (3) связан с выбором подвижной системы координат, третья ось которой направлена так, что $x_3 \neq const$. Поскольку третья ось зафиксирована, то поворотом вокруг этой оси подвижной системы координат можно добиться условия $\alpha_2 = 0$, то есть вектор $\boldsymbol{\alpha}$ имеет вид $\boldsymbol{\alpha} = (\alpha_1, 0, \alpha_3)$.

Запишем в силу (3) компоненты угловой скорости тела-носителя

$$\begin{aligned} \omega_1 &= a_{11}b + a_{12}c + a_{13}x_3, & \omega_2 &= a_{12}b + a_{22}c + a_{23}x_3, \\ \omega_3 &= a_{13}b + a_{23}c + a_{33}x_3. \end{aligned} \quad (4)$$

Очевидно, что при условиях $x_1 = b$, $x_2 = c$, $x_3 \neq const$ подвижный годограф вектора угловой скорости $\boldsymbol{\omega}$ принадлежит прямой.

Рассмотрим случай, когда уравнения (1),(2) описывают задачу о движении гиростата с переменным гиростатическим моментом под действием только силы тяжести, то есть $B_{ij} = 0$, $C_{ij} = 0$ ($i, j = \overline{1,3}$).

Используя метод инвариантных соотношений [3], найдем условия существования ИС (3) для уравнений (1). Подставим выражения (3), (4) в скалярные уравнения, вытекающие из первых двух уравнений системы (1) и потребуем, чтобы они выполнялись для любых значений переменных λ , v_i , x_3 . Предполагая, что барицентрическая ось является главной, получим следующие условия на параметры задачи

$$\alpha_1 = 0, \quad a_{12} = a_{13} = a_{23} = 0, \quad c = 0, \quad s_2 = s_3 = 0. \quad (5)$$

Обозначая $a_{ii} = a_i$ ($i = \overline{1,3}$) из скалярных уравнений находим

$$\lambda = \frac{1}{a_3 b v_3} \left[b k (a_3 - a_1) + b^2 (a_1 - a_3) v_1 + s_1 v_3^2 \right],$$

$$x_3 = \frac{1}{a_3 b v_3} (b k a_1 - b^2 a_1 v_1 - s_1 v_3^2).$$
(6)

Уравнения Пуассона из (1) примут вид

$$\dot{v}_1 = \frac{v_2}{b v_3} (b k a_1 - b^2 a_1 v_1 - s_1 v_3^2),$$

$$\dot{v}_2 = \frac{1}{b v_3} \left[-b k a_1 v_1 + b^2 a_1 (v_1^2 + v_3^2) + s_1 v_1 v_3^2 \right], \quad \dot{v}_3 = -b a_1 v_2.$$
(7)

Уравнения (7) имеют интегралы $v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 = 1$, $\frac{a_1 b (b v_1 - k) - s_1 v_3^2}{v_3} = c_*$, где

c_* – произвольная постоянная. Из этих интегралов получим

$$v_1(v_3) = \frac{k a_1 b + c_* v_3 + s_1 v_3^2}{a_1 b^2}, \quad v_2(v_3) = \sqrt{1 - v_3^2 - v_1^2(v_3)}.$$
(8)

Подставив $v_2(v_3)$ из (8) в третье уравнение системы (7) приходим к дифференциальному уравнению с разделяющимися переменными, из которого вытекает

$$\int_{v_3^{(0)}}^{v_3} \frac{d v_3}{\sqrt{1 - v_3^2 - v_1^2(v_3)}} = -a_1 b (t - t_0).$$
(9)

В силу (8),(9) функция $v_3 = v_3(t)$ находится путем обращения эллиптического интеграла, поэтому $v_3 = v_3(t)$ – эллиптическая функция времени. Действительности этой функции можно добиться надлежащим выбором произвольной постоянной k (например, положив $k < b$).

Заключение. Поскольку постоянные k, c_* – произвольные, то функция $v_3(t)$ зависит от трех произвольных постоянных. Подставив ее в формулы (6),(8) и учтя соотношения (3) при условиях (5) $x_1 = b, x_2 = 0$, получим зависимость основных переменных задачи (1),(2) от времени. Функцию $L(t)$ найдем из уравнения $L(t) = \dot{\lambda}(t)$.

Список литературы

1. Горр Г.В., Мазнев А.В. Динамика гиростата, имеющего неподвижную точку. – Донецк: ДонНУ, 2010. – 364 с.
2. Козлов В.В., Онищенко Д.А. Неинтегрируемость уравнений Кирхгофа // Докл. АН СССР. – 1982. – **266**, № 6. – С. 1298-1300.
3. Горр Г.В. Инвариантные соотношения уравнений динамики твердого тела. Теория, результаты, комментарии. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017. – 424 с.

О НОВОМ КЛАССЕ ЧАСТНЫХ РЕШЕНИЙ ОДНОЙ ЗАДАЧИ О ДВИЖЕНИИ ГИРОСТАТА

Зыза А.В., канд. физ.-мат. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
z9125494@mail.ru

Введение. Классическая задача о движении тяжелого твердого тела с одной неподвижной точкой, описываемая уравнениями Эйлера-Пуассона [1], имеет многочисленные обобщения в динамике твердого тела [2]. Одним из таких обобщений является задача о движении гиростата в магнитном поле с учетом эффекта Барнетта-Лондона [2, 3]. Математической моделью этой задачи является система из шести дифференциальных уравнений, содержащая двадцать параметров, и допускающая только два первых интеграла [2]. Задача Коши для этих дифференциальных уравнений имеет решение, но получить конструктивное решение для всего множества параметров невозможно, так как при произвольных значениях параметров уравнения такого движения неинтегрируемы в квадратурах [4]. Поэтому изучение свойств движения твердого тела с неподвижной точкой (типа гиростат) может быть основано либо на построении частных решений, либо на численном интегрировании при помощи компьютерных средств [5, 6].

Цель исследования – изучение условий существования частного решения специальной полиномиальной структуры рассматриваемой задачи и построения указанного решения в замкнутом виде. Для такого исследования использовались: метод инвариантных соотношений, полуобратный метод, метод редукции к меньшему числу уравнений.

Основная часть. Уравнения движения гиростата в магнитном поле с учетом эффекта Барнетта-Лондона и момента ньютоновских сил в векторном виде таковы [2]:

$$A\dot{\boldsymbol{\omega}} = (A\boldsymbol{\omega} + \boldsymbol{\lambda}) \times \boldsymbol{\omega} + B\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{\nu} + \boldsymbol{\nu} \times (C\boldsymbol{\nu} - \boldsymbol{s}), \quad \dot{\boldsymbol{\nu}} = \boldsymbol{\nu} \times \boldsymbol{\omega}. \quad (1)$$

Уравнения (1), в отличие от уравнений Эйлера-Пуассона и Кирхгофа-Пуассона [1, 2], допускают только два первых интеграла

$$\boldsymbol{\nu} \cdot \boldsymbol{\nu} = 1, \quad (A\boldsymbol{\omega} + \boldsymbol{\lambda}) \cdot \boldsymbol{\nu} = \kappa_0. \quad (2)$$

Изменение полной энергии гиростата определяется соотношением

$$\left[(A\boldsymbol{\omega} \cdot \boldsymbol{\omega}) - 2(\boldsymbol{s} \cdot \boldsymbol{\nu}) + (C\boldsymbol{\nu} \cdot \boldsymbol{\nu}) \right]' = 2(B\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{\nu}) \cdot \boldsymbol{\omega}. \quad (3)$$

В (1)–(3) обозначено: $\boldsymbol{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)$ – угловая скорость гиростата; $\boldsymbol{\nu} = (\nu_1, \nu_2, \nu_3)$ – единичный вектор, характеризующий направление магнитного поля; $\boldsymbol{\lambda} = (\lambda_1, \lambda_2, 0)$ – гиростатический момент; $\boldsymbol{s} = (s_1, s_2, 0)$ –

вектор обобщенного центра масс; $A = \text{diag}(A_1, A_2, A_3)$ – тензор инерции гиростата в неподвижной точке; $B = \text{diag}(B_1, B_2, B_3)$ – матрица, характеризующая магнитный момент гиростата; матрица $C = \text{diag}(C_1, C_2, C_3)$ – приведенный тензор инерции, который характеризует ньютоновское притяжение гиростата неподвижным центром; κ_0 – постоянная интеграла площадей; точка над переменными обозначает относительную производную.

Если имеет место равенство $B = \alpha E$ (E – единичная матрица, α – параметр), то из формулы (3) вытекает интеграл энергии для уравнений (1).

В докладе рассматривается задача о нахождении условий существования у уравнений (1) частных решений нового полиномиального класса следующей структуры:

$$\omega_1 = \sigma^3, \omega_2 = Q(\sigma) = \sum_{i=0}^n b_i \sigma^i, \omega_3^2 = R(\sigma) = \sum_{j=0}^m c_j \sigma^j, \nu_1 = \varphi(\sigma) = \sum_{i=0}^l a_i \sigma^i \quad (4)$$

$$\nu_2 = \psi(\sigma) = \sum_{j=0}^{n_1} g_j \sigma^j, \nu_3 = \frac{\varkappa(\sigma)}{\sigma} \sqrt{R(\sigma)}, \varkappa(\sigma) = \sum_{j=0}^{m_1} f_j \sigma^j.$$

Здесь n, m, l, n_1, m_1 – натуральные числа; b_i, c_j, a_i, g_j, f_j – параметры, подлежащие определению.

В результате исследования условий существования у уравнений (1) решений вида (4) найдено новое частное решение, для которого $n=3, m=6, l=2, n_1=3, m_1=1$. Построенное решение описывается гиперэллиптическими функциями времени.

Заключение. В докладе продолжено исследование решений, которые характеризуются полиномиальной структурой компонент вектора угловой скорости от вспомогательной переменной задачи о движении гиростата с неподвижной точкой в магнитном поле с учетом эффекта Барнетта-Лондона.

Список литературы

1. Харламов П.В. Лекции по динамике твердого тела / П.В.Харламов. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 1965. – 221 с.
2. Горр Г.В. Динамика гиростата, имеющего неподвижную точку / Г.В.Горр, А.В.Мазнев. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2010. – 364 с.
3. Barnett S.I. Gyromagnetic and Electron-Inertia Effects / S.I.Barnett // Rev. Moder. Phys. – 1935. – 7(2). – P.129-166.
4. Зиглин С.Л. Ветвление решений и несуществование интегралов в гамильтоновых системах / С.Л.Зиглин // Докл. АН СССР. – 1981. – Т.257, № 1. – С.26-29.
5. Klein F. Über die Theorie des Kreisels / F.Klein, A.Sommerfeld. – New York: Johnson reprint corp., 1965. – 996 p.
6. Харламов П.В. Современное состояние и перспективы развития классических задач твердого тела / П.В.Харламов // Механика твердого тела. – 2000. – Вып. 30. – С. 1-13.

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРЕЦЕССИОННЫХ ДВИЖЕНИЙ ГИРОСТАТА

Мазнев А.В., д-р физ.-мат. наук, доцент,

Горбунова Ю.С.

ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет", г. Донецк, ДНР

aleksandr_maznev@rambler.ru, yulya_gorbunova_1993@mail.ru

Доклад посвящен анализу кинематических условий прецессионных движений твердого тела с неподвижной точкой.

Введение. Прецессионные движения твердого тела и гиростата относятся к наиболее наглядным с механической точки зрения движениям и находят широкое применение в важной для техники теории гироскопических систем. А.Ю. Ишлинский подробно исследовал прецессию в этой области для построения строгой технической теории гироскопических систем.

В динамике твердого тела много результатов получил Д. Гриоли [1, 2]. Он не только изучил регулярные обобщенные прецессии относительно вертикали, но и получил новый случай интегрируемости уравнений Эйлера–Пуассона, который описывает регулярную прецессию несимметричного тела относительно наклонной оси. Характерным свойством такой прецессии является свойство распределения масс тела – центр масс тела лежит на перпендикуляре к круговому сечению эллипсоида инерции, построенного для неподвижной точки.

В дальнейшем прецессии твердого тела и гиростата изучались в работах Г.В. Горра и его учеников [3]. В этих исследованиях значительно расширился класс типов прецессий и класс задач динамики твердого тела.

Значительную роль в исследовании программных движений твердого тела играют кинематические условия прецессий гиростата, имеющего неподвижную точку. Рассмотрены два случая – первый случай посвящен прецессиям с фиксированной собственной осью в гиростате, второй случай относится к прецессиям гиростата с переменным положением собственной оси гиростата

Основная часть. Рассмотрим задачу о движении гиростата, имеющего неподвижную точку O . Пусть ось l_1 с единичным вектором a имеет начало в точке O и неизменно связана с гиростатом, ось l_2 с единичным вектором γ имеет начало также в точке O и фиксирована в неподвижном пространстве. Обозначим через ω – угловую скорость гиростата (тела–носителя), через v – единичный вектор с началом в точке O , характеризующий некоторое направление (например, ось симметрии

силового поля). Тогда выполняются соотношения

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{a} = 1, \quad \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} = 1, \quad \boldsymbol{\gamma} \cdot \boldsymbol{\gamma} = 1, \quad \mathbf{v} \cdot \boldsymbol{\gamma} = c_0, \quad (1)$$

$$\dot{\mathbf{a}} = \mathbf{0}, \quad \dot{\boldsymbol{\gamma}} = \boldsymbol{\gamma} \times \boldsymbol{\omega}, \quad \dot{\mathbf{v}} = \mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}. \quad (2)$$

В формулах (1) $c_0 = \cos \kappa_0$ ($\kappa_0 = \angle(\mathbf{v}, \boldsymbol{\gamma})$). В формулах (2) точкой обозначена производная по времени в подвижной системе координат.

Прецессионным движением называют движение [4], для которого постоянен угол между векторами \mathbf{a} и $\boldsymbol{\gamma}$. Оно может быть охарактеризовано инвариантным соотношением

$$\mathbf{a} \cdot \boldsymbol{\gamma} = a_0, \quad (a_0 = \cos \theta_0, \quad \theta_0 = \angle(\mathbf{a}, \boldsymbol{\gamma})). \quad (3)$$

Легко показать, что производная от левой части равенства (3) в силу первого и второго уравнений из системы (2) приводит к условию $\boldsymbol{\omega} \cdot (\mathbf{a} \times \boldsymbol{\gamma}) = 0$, которое в случае $\mathbf{a} \neq \boldsymbol{\gamma}$ дает соотношение

$$\boldsymbol{\omega} = \dot{\varphi} \mathbf{a} + \dot{\psi} \boldsymbol{\gamma}. \quad (4)$$

В формулах (3),(4) величины θ_0 , φ , ψ являются углами Эйлера. Внесем выражение (4) во второе и третье уравнения системы (2)

$$\dot{\boldsymbol{\gamma}} = \dot{\varphi} (\boldsymbol{\gamma} \times \mathbf{a}), \quad \dot{\mathbf{v}} = \dot{\varphi} (\mathbf{v} \times \mathbf{a}) + \dot{\psi} (\mathbf{v} \times \boldsymbol{\gamma}). \quad (5)$$

Подвижную систему координат выберем так, чтобы $\mathbf{a} = (0, 0, 1)$. Тогда третьему условию из (1), соотношению (3) и первому уравнению из (5) удовлетворим, положив

$$\gamma_1 = a'_0 \sin \varphi, \quad \gamma_2 = a'_0 \cos \varphi, \quad \gamma_3 = a_0, \quad a'_0 = \sqrt{1 - a_0^2} = \sin \theta_0 \quad (6)$$

Принимая во внимание равенства (1), второе уравнение из (5), выражения (6), определим вектор \mathbf{v} в базисе \mathbf{a} , $\boldsymbol{\gamma}$, $\mathbf{a} \times \boldsymbol{\gamma}$

$$\mathbf{v} = (c_0 + a_0 b'_0 \sin \psi) \boldsymbol{\gamma} - b'_0 \mathbf{a} \sin \psi - b'_0 (\boldsymbol{\gamma} \times \mathbf{a}) \cos \psi, \quad (7)$$

где $b'_0 = b_0 / a'_0$, $b_0 = \sin \kappa_0$.

Таким образом, кинематическими условиями прецессии гиростата относительно вектора $\boldsymbol{\gamma}$ служат инвариантные соотношения (3), (4), (6),(7).

Установим кинематические условия прецессий гиростата в случае, когда вектор \mathbf{a} занимает переменное положение в гиростате.

Будем рассматривать случай прецессии гиростата относительно вектора вертикали \mathbf{v}

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{v} = a_0, \quad \boldsymbol{\omega} = \dot{\varphi} \mathbf{a} + \dot{\psi} \mathbf{v}, \quad (a_0 = \cos \theta_0). \quad (8)$$

Вектор $\mathbf{a} = (a_1, a_2, a_3)$ с помощью углов μ_0 , σ_0 и с учетом того, что он единичный, представим так

$$\mathbf{a} = (\sin \mu_0 \cos \sigma_0, \sin \mu_0 \sin \sigma_0, \cos \mu_0). \quad (9)$$

В случае, когда вектор \mathbf{a} принадлежит плоскости, ортогональной третьей координатной оси подвижной системы координат кинематическим

соотношениям $\mathbf{a} \cdot \mathbf{v} = a_0$, $\mathbf{v} \cdot \mathbf{v} = 1$ и уравнению $\dot{\mathbf{v}} = \dot{\varphi}(\mathbf{v} \times \mathbf{a})$ удовлетворим, положив

$$\mathbf{a} = (\cos \sigma_0, \sin \sigma_0, 0), \quad \mathbf{a} \cdot \mathbf{v} = a_0 \quad (a_0 = \cos \theta_0), \quad (10)$$

$$\begin{aligned} v_1 &= \cos \theta_0 \cos \sigma_0 - \sin \sigma_0 \sin \theta_0 \cos \varphi, \\ v_2 &= \cos \theta_0 \sin \sigma_0 + \cos \sigma_0 \sin \theta_0 \cos \varphi, \\ v_3 &= -\sin \theta_0 \sin \varphi. \end{aligned} \quad (11)$$

Заключение. Интерес в исследовании прецессий (10), (11) состоит в том, что если в (10), (11) σ_0 – произвольный параметр, то данный класс движений можно охарактеризовать дробно-линейным первым интегралом уравнений Пуассона $\dot{\mathbf{v}} = \mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}$. Действительно, дробно-линейный первый интеграл по переменным v_1, v_2, v_3 можно записать так $\frac{\alpha_0 + (\boldsymbol{\alpha} \cdot \mathbf{v})}{\beta_0 + (\boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{v})} = l_0$,

где $\boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{\beta}$ – единичные и ортогональные векторы: $|\boldsymbol{\alpha}| = |\boldsymbol{\beta}| = 1, \boldsymbol{\alpha} \cdot \boldsymbol{\beta} = 0$; l_0 – произвольная постоянная. Вводя вместо l_0 новую постоянную τ_0 по формуле $l_0 = \operatorname{tg} \tau_0$, преобразуем интеграл к $\mathbf{a} \cdot \mathbf{v} = a_0$, где a_1, a_2, a_3 – компоненты вектора \mathbf{a} и постоянная a_0 имеют значения

$$a_i = \alpha_i \cos \tau_0 - \beta_i \sin \tau_0, \quad a_0 = \beta_0 \sin \tau_0 - \alpha_0 \cos \tau_0 \quad (i = 1, 2, 3).$$

В случае (10), (11) компоненты вектора $\boldsymbol{\omega}$ таковы

$$\omega_1 = \dot{\varphi} \cos \sigma_0 + \dot{\psi} v_1, \quad \omega_2 = \dot{\varphi} \sin \sigma_0 + \dot{\psi} v_2, \quad \omega_3 = \dot{\psi} v_3,$$

где v_1, v_2, v_3 выражаются по формулам (11).

Список литературы

1. Гриоли Д. Обобщенные движения прецессии / Д. Гриоли // Механика. Период. сборник переводов иностр. статей. – 1971. – № 3 (127). – С. 3–8.
2. Grioli G. Esistenza e determinazione delle precessioni regolari dinamicamente possibili in un solido pesante asimmetrico / G. Grioli // Ann. mat. pura et appl. – 1947. – S. 4. – 26, f.-4. – P. 271–281.
3. Горп Г. В. Динамика гиростата, имеющего неподвижную точку / Г. В. Горп, А. В. Мазнев. – Донецк : ДонНУ, 2010. – 364 с.
4. Горп Г. В. Прецессионные движения в динамике твердого тела и в динамике систем связанных твердых тел / Г. В. Горп, А. В. Мазнев, Е. К. Щетинина. – Донецк : ДонНУ, 2009. – 222 с.

НОВОЕ ПОЛИНОМИАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ОДНОЙ ЗАДАЧИ О ДВИЖЕНИИ ГИРОСТАТА

Платонова Е.С.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
elenasergeevna9@mail.ru

Введение. Теоретическая механика в отличие от прикладной механики, которая создает методы расчетов движущихся конструкций, разрабатывает методы математического моделирования качественного поведения объектов современной техники. Для того, чтобы созданная математическая модель – система дифференциальных уравнений была доступна к анализу с помощью современных методов, в процессе постановки задачи принимают различные идеализации. Таким образом в теоретической механике были сформированы классические задачи и их обобщения: задачи о движении одного твердого тела и системы связанных твердых тел (типа гиростат) в различных силовых полях.

Целью работы является продолжение исследование условий существования полиномиальных решений класса Стеклова –Ковалевского –Горячева задачи о движении гиростата в магнитном поле с учетом эффекта Барнетта-Лондона. Построено новое частное решение указанного полиномиального класса.

Основная часть. Рассмотрим движение гиростата в магнитном поле с учетом эффекта Барнетта-Лондона. Эффект Барнетта-Лондона состоит в том, что первоначально ненамагниченные и сверхпроводящие твердые тела при движении в магнитном поле намагничиваются вдоль оси вращения. Возникающая при вращении намагниченность линейно зависит от угловой скорости гиростата $\omega(B = B\omega)$, где B – симметричный тензор третьего порядка. Магнитный момент тела при взаимодействии с внешним магнитным полем будет стремиться по направлению вектора напряженности магнитного поля. При этом взаимодействие вызванной вращением тела намагниченности с внешним магнитным полем приводит к прецессии вектора кинетического момента тела вокруг вектора поля

Изучение движения тела под действием указанного магнитного момента имеет важное значение при определении предельной точности навигационных систем, использующих неконтактный подвес. Поэтому при математическом моделировании движения тела в магнитном поле следует учитывать магнитный момент, который возникает в результате эффекта Барнетта-Лондона. Это обстоятельство приводит к тому, что уравнения такого движения в отличии от уравнений Эйлера-Пуассона и Кирхгофа-Пуассона не допускают интеграл энергии, так как имеет место диссипация

энергии – переход энергии магнитного поля в кинетическую энергию вращательного движения твердого тела. Поэтому для интегрирования уравнений движения недостаточно поглотить дополнительный первый интеграл.

Уравнение движения гиростата в магнитном поле с учетом эффекта Барнетта-Лондона и момента ньютоновских сил в векторной форме таковы:

$$A\dot{\omega} = (A\omega + \lambda) \times \omega + B\omega \times \nu + \nu \times (C\nu - s), \quad \dot{\nu} = \nu \times \omega \quad (1)$$

Уравнения допускают только два первых интеграла

$$\nu \cdot \nu = 1, \quad (A\omega + \lambda) \cdot \nu = k_0. \quad (2)$$

Изменение полной энергии гиростата определяется соотношением

$$\left[(A\omega \cdot \omega) - 2(s \cdot \nu) + (C\nu \cdot \nu) \right]' = 2(B\omega \times \nu) \cdot \omega.$$

В уравнениях (1)–(3) обозначено: $\omega = (p, q, r)$ – угловая скорость гиростата; $\nu = (\nu_1, \nu_2, \nu_3)$ – единичный вектор, характеризующий направление магнитного поля; $\lambda = (\lambda_1, 0, 0)$ – гиростатический момент; $s = (s_1, 0, 0)$ – вектор обобщённого центра масс; $A = \text{diag}(A_1, A_2, A_3)$ – тензор инерции гиростата, построенный в неподвижной точке; $B = \text{diag}(B_1, B_2, B_3)$ – матрица, характеризующая магнитный момент гиростата; $C = \text{diag}(C_1, C_2, C_3)$ – приведённый тензор инерции, который характеризует ньютоновское притяжение гиростата неподвижным центром; k_0 – постоянная интеграла площадей.

Если для уравнения имеет место равенство $B = \hat{\alpha}E$ (E – единичная матрица, $\hat{\alpha}$ – параметр), то из формулы (3) вытекает интеграл энергии для уравнений. Тогда рассматриваемая задача становится задачей о движении гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил, а её дифференциальные уравнения будут относиться к уравнениям класса Кирхгофа.

Рассмотрим первый вариант. Для него полиномы исследуемого решения таковы:

$$Q(p) = b_2 p^2 + b_1 p + b_0, \quad R(p) = c_2 p^2 + c_1 p + c_0, \\ \varphi(p) = a_2 p^2 + a_1 p + a_0, \quad \psi(p) = g_1 p + g_0,$$

Подставим в уравнения. Требование того, чтобы полученные соотношения были тождествами по p , приводит к системе условий на параметры задачи и решения (4):

$$\alpha f_0 - B_3 = 0, \quad A_1 g_1 - 2a_2 d = 0, \quad A_1 (g_0 - f_0) - a_1 d = 0, \quad 2b_1 g_1 d + A_1 a_2 = 0, \\ (3b_1 g_1 + 2b_2 g_0) d - 2A_1 (f_0 - a_1) = 0, \quad (b_1 g_0 + 2g_1 b_0) d + 2A_1 a_0 = 0, \\ A_1 (a_2 - g_1) = 0, \quad c_2 f_0 d - A_1 (a_1 - g_0) = 0, \quad c_1 f_0 d - 2A_1 a_0 = 0,$$

$$\begin{aligned}
\beta f_0 + B_3 &= 0, & A_2 b_2 d - A_1 ((B_3 + \beta f_0) a_1 - f_0 B_1 + A_3 - A_1) &= 0, \\
A_2 b_1 d - 2A_1 ((B_3 + \beta f_0) a_0 - f_0 s_1 - \lambda_1), & & A_1 (\alpha + \beta) g_1 a_2 &= 0, \\
-(\alpha + \beta) (g_0 a_2 + g_1 a_1) - B_2 a_2 + g_1 B_1 &= 0, \\
A_3 c_2 d - A_1 (-(\alpha + \beta) g_0 a_1 + g_1 a_0) + B_1 g_0 + g_1 s_1 + A_1 - A_2 - B_2 a_1 &= 0, \\
A_3 c_1 d - 2A_1 (-(\alpha + \beta) g_0 a_0 + \lambda_1 + g_0 s_1 - B_2 a_0) &= 0, \\
a_0^2 - 1 + b_0 g_0^2 + c_0 f_0^2 &= 0.
\end{aligned}$$

Здесь

$$\alpha = C_3 - C_2, \quad \beta = C_1 - C_3, \quad d = \alpha g_0 f_0 + B_2 f_0 - B_3 g_0 + A_2 - A_3.$$

Таким образом, получено искоемое новое частное решение.

Заключение. В работе изучены условия существования одного полиномиального класса частных решений дифференциальных уравнений задачи о движении гиростата в магнитном поле с учетом эффекта Барнетта-Лондона. В результате исследования построено новое решение, которое зависит от шести независимых параметров задачи и решения и описывается эллиптическими функциями времени.

Список литературы

1. Горр Г.В. Динамика гиростата, имеющую неподвижную точку / Г.В. Горр, А.В. Мазнев. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2010. – 364 с.
2. Горр Г.В. Движение гиростата / Г.В. Горр, А.М. Ковалев. – Киев: Наук. думка, 2013. – 408 с.
3. Харламов П.В. Лекции по динамике твёрдого тела / П.В. Харламов. – Новосибирск: Изд-во Новосибир. ун-та, 1965. – 221 с.
4. Гашененко И.Н. Классические задачи динамики твердого тела / И.Н. Гашененко, Г.В. Горр, А.М. Ковалев. – Киев: Наук. думка, 2012. – 402 с.
5. Barnett S.I. Gyromagnetic and Electron – Inertia Effects / S.I. Barnett // Rev. Modern Phys. – 1935. – Vol. 7(2). – P. 129-166.
6. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. – М.: Физматгиз, 1963. – 696 с.
7. Самсонов В.А. О вращении твердого тела в магнитном поле / В.А. Самсонов // Изв. РАН. Механика твердого тела. – 1984. – №4. – С. 32-34.
8. Козлов В.В. К задаче о вращении твердого тела в магнитном поле / В.В. Козлов // Изв. РАН Механика твердого тела. – 1985. – №6. – С. 28-33.
9. Борисов А.В. Динамика твердого тела / А.В. Борисов, И.С. Мамаев. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 384 с.
10. Миронова Е.М. О решении уравнений движения тела в магнитном поле на основе полиномиальных решений / Е.М. Миронова // Прикл. механика. – 2001. – Т. 37, вып. 2. – С. 105-113.

ПОЛОЖЕНИЕ РАВНОВЕСИЯ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛ С УЧЕТОМ РАСТЯЖЕНИЯ

Щепин Н.Н., канд. физ.-мат. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
shchepin_nick@mail.ru

Введение. Для нахождения различных равновесных состояний и колебаний механических объектов широкое использование получила конечномерная модель систем твердых тел, связанных упругими универсальными и телескопическими шарнирами. Так, использование системы твердых тел, связанных упругими шарнирами, оказалось весьма эффективным при изучении статики и динамики стержневых конструкций, допускающих прогибы значительной величины [1].

Однако, как показывают экспериментальные исследования, учет только изгибных деформаций не дает полной картины поведения исследуемых объектов. В связи с этим, при моделировании равновесных конфигураций возникает задача учета других видов деформаций, таких как растяжение и сдвиг.

Целью работы является построение конечномерной модели упругого стержня, которая представима системой твердых тел, связанных соединениями, допускающими растяжение оси (телескопический шарнир) и нелинейный прогиб (цилиндрический шарнир), а также нахождения равновесных конфигураций этой системы

Постановка задачи. Рассмотрим систему n гироскопов Лагранжа S_j . В точке P_j тела S_j установлен невесомый, упругий, телескопический шарнир, сонаправленный с осью симметрии тела S_j . В точке O_{j+1} тела S_{j+1} телескопический шарнир с помощью упругого цилиндрического шарнира соединяется с телом S_{j+1} . Точка O_{j+1} принадлежит оси симметрии тела S_{j+1} . Полагаем, что оси симметрии $O_j P_j = h_j$ тел S_j ($j = \overline{1..n}$) лежат в одной плоскости OXZ , а оси всех цилиндрических шарниров, закрепленных в точках O_j , ей перпендикулярны.

Для учета геометрической нелинейности поведения упругого стержня момент L_j в цилиндрических шарнирах выбирается равным [2]

$$L_j = c^2 \sin(\psi_j - \psi_{j-1}), \quad j = \overline{1..n}, \quad (1)$$

Для замкнутых систем $O_1 = O_{n+1}$, а угол ψ_0 считаем равным ψ_n .

Полагаем, что на систему не действуют внешние силы и моменты, вследствие чего ее центр масс неподвижен.

Потенциальная энергия системы с учетом (1) имеет вид

$$\Pi = -c^2 \sum_{j=1}^n \cos(\psi_j - \psi_{j-1}) + \frac{1}{2} k^2 \sum_{j=1}^n \xi_j^2. \quad (2)$$

Для замкнутых систем выполняется следующее соотношение:

$$f_1 = \sum_{j=1}^n (h_j + \xi_j) \cos \psi_j = 0, \quad f_2 = \sum_{j=1}^n (h_j + \xi_j) \sin \psi_j = 0. \quad (3)$$

Для систем с дополнительными связями положения равновесия могут быть найдены из условия [3] стационарности функции $L = \Pi + \lambda_1 f_1 + \lambda_2 f_2$, т.е.

$$\delta L = \delta \Pi + \lambda_1 \delta f_1 + \lambda_2 \delta f_2 = 0 \quad (4)$$

Подставляя (2), (3) в соотношение (4), получаем систему уравнений $c^2(\sin(\psi_{j+1} - \psi_j) - \sin(\psi_j - \psi_{j-1})) = (h_j + \xi_j)(\lambda_2 \cos \psi_j - \lambda_1 \sin \psi_j)$, $j = \overline{1, n}$,

$$\psi_{n+1} = \psi_1, \quad \psi_0 = \psi_n, \quad (5)$$

$$k^2 \xi_j = -(\lambda_1 \cos \psi_j + \lambda_2 \sin \psi_j), \quad j = \overline{1, n}, \quad (6)$$

которая вместе с равенствами (3) позволяет определить неизвестные величины поставленной задачи.

Стационарное решение типа «восьмерка» в случае шести тел. Полагаем, что фигура симметрична относительно оси OZ . При этом длины осей симметрии тел $O_k P_k$ ($k = \overline{1, 6}$) равны

$$O_1 P_1 = O_3 P_3 = O_4 P_4 = O_6 P_6 = h_1, \quad O_2 P_2 = O_5 P_5 = h_2, \quad (7)$$

углы ψ_k ($k = \overline{1, 6}$) между осью симметрии тела S_k и осью OX таковы:

$$\psi_1 = \psi_3 = \varphi, \quad \psi_2 = -\psi, \quad \psi_4 = \psi_6 = \pi - \varphi, \quad \psi_5 = \pi + \psi, \quad (8)$$

растяжения ξ_k ($k = \overline{1, 6}$) равны

$$\xi_1 = \xi_3 = \xi_4 = \xi_6, \quad \xi_2 = \xi_5 \quad (9)$$

Считаем, что φ и ψ – острые углы. Будем полагать, что

$$a = h_1 / h_2; \quad \xi_1 = h_1 \overline{\xi_1}; \quad \xi_2 = h_2 \overline{\xi_2}. \quad (10)$$

и знак "тильды" в дальнейшем опускаем. Из условия замкнутости (3), получаем

$$\sin \psi = 2b \sin \varphi. \quad (11)$$

где

$$b = a(1 + \xi_1) / (1 + \xi_2) \quad (12)$$

Из предположения, что φ и ψ – острые, из (11) следует, что $b > 0$.

Решение (8) удовлетворяет уравнениям равновесия (5) в случае $\lambda_2 = 0$.

После исключения из уравнений (5) множителя λ_1 получаем

$$\frac{\sin 2\varphi - \sin(\varphi + \psi)}{2 \sin(\varphi + \psi)} = b \frac{\cos \varphi}{\cos \psi}, \quad (13)$$

Для дальнейшего исследования введем дополнительный параметр p :

$$\cos \psi = p \cos \varphi \quad (14)$$

Очевидно, что параметр p больше нуля, так как углы φ и ψ острые.

Из (11), (14) получаем

$$0 < \frac{1-p^2}{4b^2-p^2} < 1 \quad (15)$$

Подставляя (11), (14) в (13) получаем уравнение

$$p^2 + 2p(2b-1) + 4b^2 = 0 \quad (16)$$

Корни уравнения (16) действительны при условии

$$b \leq 1/4 \quad (17)$$

и при этом уравнение (16) имеет два положительных действительных корня.

Из анализа неравенства (15) с учетом условия (17) следует, что

$$0 < b \leq 1/4, \quad p > 1. \quad (18)$$

Из уравнений (6), (11) и соотношения (12) получаем систему уравнений для нахождения ξ_1, ξ_2 .

Таким образом, решение (8), (9) существует для рассматриваемой системы шести тел, если углы φ и ψ определяются соотношениями

$$\sin \varphi = \sqrt{\frac{1-p^2}{4b^2-p^2}}, \quad \sin \psi = 2b \sqrt{\frac{1-p^2}{4b^2-p^2}},$$

растяжения ξ_1, ξ_2 формулами

$$\xi_1 = \frac{b-a}{a(1+2b^2)}, \quad \xi_2 = -2b \frac{b-a}{1+2b^2}$$

где $p = -2b + 1 + \sqrt{1-4b}$, а $b \in (0, (\sqrt{2}-1)/2)$.

Заключение. Таким образом, в работе получена замкнутая система уравнений, описывающая конечномерную модель упругого стержня с учетом нелинейности прогибов и растяжения оси. Для случая шести тел замкнутой системы типа "восьмерка" получены условия существования равновесных конфигураций.

Список литературы

1. Болграбская И.А., Савченко А.Я., Щепин Н.Н. Замкнутые системы связанных твердых тел / И.А.Болграбская, А.Я.Савченко, Н.Н.Щепин // Механика твердого тела. – 2006. – Вып. 36. – С. 94–103.
2. Болграбская И.А., Щепин Н.Н. О новом решении уравнений равновесия системы тел с упругой связью / И.А.Болграбская, Н.Н.Щепин // Прикл. математика и механика. – 2014. – Т. 78, Вып. 25. – С. 671–680.
3. Рубановский В.Н., Самсонов В.А. Устойчивость стационарных движений в примерах и задачах / В.Н.Рубановский, В.А.Самсонов. – М.: Наука, 1968. – 304 с.

Механика деформируемых сред

УДК 539.3:534.1

НОРМАЛЬНЫЕ ВОЛНЫ В РАДИАЛЬНО НЕОДНОРОДНЫХ ТРАНСВЕРСАЛЬНО ИЗОТРОПНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ЦИЛИНДРАХ

Бобакова Р.В.¹,

Моисеенко И.А.¹, д-р физ.-мат. наук, доцент,

Моисеенко В.А.², канд. физ.-мат. наук, доцент

¹ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

²ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

г. Макеевка, ДНР

miamia733@mail.ru

Введение. Упругие тела цилиндрической геометрии представляют собой важнейший по фундаментальной и прикладной значимости класс объектов математического моделирования в волновой механике деформируемых сред. Для построения общих аналитических решений уравнений модели в случае функционально-градиентных материалов применяется подход, основанный на задании специального вида функционального закона радиального изменения физико-механических характеристик материала волновода. Таким способом построены в аналитическом виде базисные решения модели и исследованы эффекты влияния фактора радиальной неоднородности материала на топологию дисперсионных спектров, фазовых и групповых скоростей бегущих нормальных волн в трансверсально-изотропных сплошных [1] и полых [2] цилиндрах с экспоненциально степенным законом радиальной неоднородности материала. В данном исследовании указанная методика распространена на случай составных цилиндрических волноводов из радиально неоднородных трансверсально-изотропных материалов.

Постановка задачи. Рассматривается протяженный составной волновод, имеющий в поперечном сечении форму концентрического кругового кольца с радиусами R_1 и R_2 . Вводится нормирующий параметр R_* , на который накладываются ограничения $R_1 \leq R_* \leq R_2$ и $R_2/2 < R_*$. Вводятся также безразмерные параметры

$$r_0 = 0, \quad r_1 = R_1/R_*, \quad r_2 = R_2/R_*, \quad h = \max\{1 - r_1, r_2 - 1\} \quad (0 < h < 1).$$

В нормированной параметром R_* безразмерной цилиндрической системе координат $Or\theta z$ волновод занимает область $V = V^{(1)} \cup V^{(2)}$

$$V^{(j)} = \left\{ r \in [r_{j-1}, r_j]; \theta \in [-\pi, \pi]; z \in (-\infty, \infty) \right\} \quad (j = \overline{1, 2}),$$

с поверхностью раздела двух сред Γ_1 и внешней граничной поверхностью

Γ_2 , где $\Gamma_j = \{r = r_j, \theta \in [-\pi, \pi], z \in (-\infty, \infty)\}$ ($j = \overline{1, 2}$). Полагается, что материалы в областях волновода $V^{(1)}$ и $V^{(2)}$ являются функционально-неоднородными в радиальных направлениях по всем своим физико-механическим свойствам, а их плотности $\rho(r)$ и нормированные параметром C_* модули упругости $c_{jp}(r)$ описываются соотношениями

$$\rho(r) = \tilde{\rho} \exp(f_{\lambda,q}^{(n)}(r)), \quad c_{jp}(r) = \tilde{c}_{jp} \exp(f_{\lambda,q}^{(n)}(r)) \quad (\lambda \in \mathbb{R}; q \in \{0\} \cup \mathbb{N}; n = \overline{1, 2}),$$

где $f_{\lambda,q}^{(1)}(r) = \lambda r^q$ ($r \in [r_0, r_1]$) и $f_{\lambda,q}^{(2)}(r) = \lambda((r-1)/h)^q$ ($r \in [r_1, r_2]$).

Пространственная линейная математическая модель динамического напряженно-деформированного состояния упругих тел с усложненными физико-механическими свойствами в системе координат $Or\theta z$ включает систему дифференциальных уравнений движения

$$\begin{aligned} \partial_r \sigma_{rr} + r^{-1} \partial_\theta \sigma_{r\theta} + \partial_z \sigma_{rz} + r^{-1} (\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}) - (\rho R_*^2 / C_*) \partial_t^2 u_r &= 0, \\ \partial_r \sigma_{r\theta} + r^{-1} \partial_\theta \sigma_{\theta\theta} + \partial_z \sigma_{\theta z} + 2r^{-1} \sigma_{r\theta} - (\rho R_*^2 / C_*) \partial_t^2 u_\theta &= 0, \\ \partial_r \sigma_{rz} + r^{-1} \partial_\theta \sigma_{\theta z} + \partial_z \sigma_{zz} + r^{-1} \sigma_{rz} - (\rho R_*^2 / C_*) \partial_t^2 u_z &= 0; \end{aligned} \quad (1)$$

определяющие соотношения линейного закона Гука

$$\sigma_{rr} = c_{11} \varepsilon_{rr} + c_{12} \varepsilon_{\theta\theta} + c_{13} \varepsilon_{zz}, \quad \sigma_{\theta\theta} = c_{12} \varepsilon_{rr} + c_{11} \varepsilon_{\theta\theta} + c_{13} \varepsilon_{zz},$$

$\sigma_{zz} = c_{13} \varepsilon_{rr} + c_{13} \varepsilon_{\theta\theta} + c_{33} \varepsilon_{zz}$, $\sigma_{\theta z} = c_{44} \varepsilon_{\theta z}$, $\sigma_{rz} = c_{44} \varepsilon_{rz}$, $\sigma_{r\theta} = c_{66} \varepsilon_{r\theta}$; (2)
уравнения связи между компонентами тензора малых деформаций ε_{nm} ($n, m = r, \theta, z$) и отнесенными к нормирующему параметру R_* компонентами безразмерного вектора упругих волновых перемещений u_n ($n = r, \theta, z$)

$$\begin{aligned} \varepsilon_{rr} &= \partial_r u_r, \quad \varepsilon_{\theta\theta} = r^{-1} u_r + r^{-1} \partial_\theta u_\theta, \quad \varepsilon_{zz} = \partial_z u_z, \\ \varepsilon_{\theta z} &= \partial_z u_\theta + r^{-1} \partial_\theta u_z, \quad \varepsilon_{rz} = \partial_z u_r + \partial_r u_z, \quad \varepsilon_{r\theta} = r^{-1} \partial_\theta u_r + (\partial_r - r^{-1}) u_\theta. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь σ_{nm} – отнесенные к нормирующему параметру C_* безразмерные характеристики тензора напряжений. Представленная модель включает также условия неразрывного контакта областей волновода $V^{(1)}$ и $V^{(2)}$ вида

$$\sigma_{rs}^{(1)} \Big|_{(r,\theta,z) \in \Gamma_1} = \sigma_{rs}^{(2)} \Big|_{(r,\theta,z) \in \Gamma_1}, \quad u_s^{(1)} \Big|_{(r,\theta,z) \in \Gamma_1} = u_s^{(2)} \Big|_{(r,\theta,z) \in \Gamma_1} \quad (s = r, \theta, z)$$

и граничные условия свободной $\sigma_{rs}^{(2)} \Big|_{(r,\theta,z) \in \Gamma_2} = 0$ ($s = r, \theta, z$) либо жестко закрепленной $u_s^{(2)} \Big|_{(r,\theta,z) \in \Gamma_2} = 0$ ($s = r, \theta, z$) его внешней поверхности.

Базисные решения. В соответствующих областях волновода в аналитическом виде построены базисные решения уравнений модели (1)–(3). В области $V^{(1)}$ указанные решения получены с точностью до произвольного векторного коэффициента третьего порядка в виде равномерно и абсолютно сходящихся обобщенно-степенных матричных

рядов по радиальной координате r

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_\tau^{(1)}(r, \theta, z, t) &= \exp(-\delta\lambda r^q - i\omega t + i\tilde{k}z) \mathbf{T}_\tau(\theta) \tilde{\mathbf{U}}_\tau^{(1)}(r), \\ \tilde{\mathbf{U}}_\tau^{(1)}(r) &= \mathbf{A}_1(r) \sum_{m=0}^{\infty} r^m \left[r^{\eta_1} \mathbf{X}_m^{(\tau, \eta_1)}, r^{\eta_2} \mathbf{X}_m^{(\tau, \eta_2)}, r^{\eta_3} \mathbf{X}_m^{(\tau, \eta_3)} \right], \end{aligned} \quad (4)$$

а в области $V^{(2)}$ указанные решения получены с точностью до произвольного векторного коэффициента шестого порядка в виде равномерно и абсолютно сходящихся степенных матричных рядов по кольцевой координате $x = (r-1)/h$

$$\mathbf{U}_\tau^{(2)}(x, \theta, z, t) = \exp(-\delta\lambda x^q - i\omega t + i\tilde{k}z) \mathbf{T}_\tau(\theta) \sum_{m=0}^{\infty} x^m \left[\mathbf{X}_m^{(\tau, 1)}, \mathbf{X}_m^{(\tau, 2)} \right]. \quad (5)$$

Здесь $\mathbf{U}_\tau^{(1)}(r, \theta, z, t)$ и $\mathbf{U}_\tau^{(2)}(x, \theta, z, t)$ – вектор-столбцы с нормированными компонентами вектора динамических упругих волновых перемещений в соответствующих областях волновода; ω – круговая частота; \tilde{k} – нормированное параметром R_* волновое число; $\mathbf{T}_\tau(\theta)$ – диагональная матрица с элементами $[\mathbf{T}_\tau(\theta)]_{1,1} = \cos(\tau\theta + \beta)$, $[\mathbf{T}_\tau(\theta)]_{2,2} = \sin(\tau\theta + \beta)$, $[\mathbf{T}_\tau(\theta)]_{3,3} = i\cos(\tau\theta + \beta)$ ($\tau \in \mathbb{Z}$, $\beta \in \{0, \pi/2\}$). Для векторных коэффициентов третьего порядка $\mathbf{X}_m^{(\tau, \eta_j)}$ ($\eta_j \in \mathbb{R}$, $j = \overline{1,3}$) в соотношениях (4), а также для матричных размерности 3×3 коэффициентов $\mathbf{X}_m^{(\tau, j)}$ ($j = \overline{1,2}$) в соотношениях (5) получены явные рекуррентные представления.

Заключение. Решена задача исследования волновых процессов в составных цилиндрических волноводах из трансверсально-изотропных материалов с экспоненциально степенным законом радиальной неоднородности их физико-механических свойств. Проведен численный эксперимент с целью изучения эффектов влияния физико-механических свойств и параметров радиальной неоднородности материалов составного волновода на топологию дисперсионных спектров, распределение фазовых и групповых скоростей распространяющихся осесимметричных и неосесимметричных нормальных волн. Полученные результаты перспективны для использования в прикладных исследованиях, связанных с расчетами характеристик волноводных компонентов акустоэлектронных устройств, анализа моделей ультразвуковой диагностики.

Список литературы

1. Моисеенко И.А. Распространение нормальных волн вдоль трансверсально изотропных функционально градиентных цилиндров / И.А. Моисеенко. // Вестник ДонНУ. Сер. А: Естественные науки. – 2018. – № 1. – С. 37-54.
2. Моисеенко И.А. Спектры неосесимметричных нормальных упругих волн в функционально-градиентных трансверсально изотропных полых цилиндрах / И.А. Моисеенко. // Механика твердого тела. – 2016. – Вып. 46. – С. 134-146.

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ НЕЧЕТКИХ ОЦЕНОК ДЛЯ КРИТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ И ФАЗОВЫХ СКОРОСТЕЙ НОРМАЛЬНЫХ ВОЛН В ОРТОТРОПНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ВОЛНОВОДАХ СО СКОЛЬЗЯЩЕЙ ЗАДЕЛКОЙ ГРАНЕЙ

Болнокин В.Е.¹, д-р техн. наук, профессор,
Приيمنко С.А.², канд. физ.-мат. наук, доцент,
Номбре С.Б.³, канд. физ.-мат. наук, доцент,
Сторожев С.В.³, канд. эконом. наук, доцент

¹ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова» РАН, г. Москва, РФ

²ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

³ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
г. Макеевка, ДНР

vitalybolnokin@yandex.ru

Введение и актуальность рассматриваемой проблемы. Одним из актуальных аспектов в современных исследованиях по проблемам описания дисперсионных свойств упругих волноводов является оценка влияния разбросов их физико-механических и геометрических параметров на значения частот запирания и фазовых скоростей бегущих нормальных волн. Анализ неопределенностей в моделях данного типа может быть альтернативно реализован с применением методов вероятностно-стохастического анализа либо на основе методов теории нечетких множеств. Особенности применения последних являются менее строгие требования к характеру эндогенной статистической информации о разбросах значений неконтрастных физико-механических и геометрических параметров. В данном контексте, цели представляемого исследования заключаются в разработке базирующейся на теории нечетких вычислений методики получения неконтрастных оценок для значений критических частот и фазовых скоростей бегущих нормальных упругих волн в ортотропных волноводах прямоугольного поперечного сечения со скользящей заделкой плоских боковых граней при наличии разбросов в значениях модулей упругости и размеров сечения.

Результаты исследований. Методика разрабатывается применительно к прямолинейно-ортотропному волноводу с модулями упругости c_{pq} и параметром плотности ρ , занимающему область $V = \{|x_1| \leq a_1, |x_2| \leq a_2, -\infty < x_3 < \infty\}$ в координатном пространстве $Ox_1x_2x_3$, для случая распространения в нем нормальных волн сжатия-растяжения. Граничные поверхности волновода закреплены с проскальзыванием:

$$(u_1)_{\Gamma_2} = (\sigma_{12})_{\Gamma_2} = (\sigma_{13})_{\Gamma_2} = 0, \quad \Gamma_2 = \{|x_1| = a_1, |x_2| \leq a_2, -\infty < x_3 < \infty\};$$

$$(u_2)_{\Gamma_1} = (\sigma_{21})_{\Gamma_1} = (\sigma_{23})_{\Gamma_1} = 0, \quad \Gamma_1 = \{|x_1| \leq a_1, |x_2| = a_2, -\infty < x_3 < \infty\}.$$

В процессе получения дисперсионных уравнений вводятся удовлетворяющих краевым условиям двухпараметрические представления $u_j^{(m,n)}(x_1, x_2, x_3, t)$ ($j = \overline{1,3}$; $n, m = \overline{1, \infty}$) для рассматриваемых волн

$$\begin{aligned} u_1^{(m,n)}(x_1, x_2, x_3, t) &= u_{1mn}^{(0)} \sin \lambda_{1m} x_1 \cos \lambda_{2n} x_2 \exp(-i(\omega t - kx_3)), \\ u_2^{(m,n)}(x_1, x_2, x_3, t) &= u_{2mn}^{(0)} \cos \lambda_{1m} x_1 \sin \lambda_{2n} x_2 \exp(-i(\omega t - kx_3)), \\ u_3^{(m,n)}(x_1, x_2, x_3, t) &= u_{3mn}^{(0)} \cos \lambda_{1m} x_1 \cos \lambda_{2n} x_2 \exp(-i(\omega t - kx_3)), \\ \lambda_{qp} &= p\pi / a_q \quad (q = \overline{1,2}; p = \overline{1, \infty}), \end{aligned} \quad (1)$$

и из систем однородных линейных алгебраических уравнений относительно постоянных $u_{jmn}^{(0)}$ в результате приравнивания нулю их определителей получены соотношения для трех типов критических частот $\Omega_{mn}^{(p)}$ ($p = \overline{1,3}$) и фазовых скоростей анализируемых нормальных волн

$$\begin{aligned} \Omega_{mn}^{(1)} &= F_{mn}^{(1)}(c_{44}, c_{66}, a_1, a_2) = (c_{66}\lambda_{1m}^2 + c_{44}\lambda_{2n}^2)^{1/2}, \\ \Omega_{mn}^{(p)} &= F_{mn}^{(p)}(c_{11}, c_{13}, c_{33}, c_{55}, a_1, a_2) = [((-1)^p (\Delta_{2mn}^2 - 4\Delta_{1mn})^{1/2} - \Delta_{1mn}) / 2]^{1/2}, \\ \Delta_{1mn} &= (c_{11}\lambda_{1m}^2 + c_{55}\lambda_{2n}^2)(c_{55}\lambda_{1m}^2 + c_{33}\lambda_{2n}^2) - (c_{13} + c_{55})\lambda_{1m}^2\lambda_{2n}^2, \\ \Delta_{2mn} &= -((c_{11}\lambda_{1m}^2 + c_{55}\lambda_{2n}^2) + (c_{55}\lambda_{1m}^2 + c_{33}\lambda_{2n}^2)), \\ v_f^{(qmn)} &= \omega [G_{mn}^{(q)}(\omega, \rho, c_{11}, c_{22}, c_{33}, c_{23}, c_{13}, c_{12}, c_{44}, c_{55}, c_{66}, a_1, a_2)]^{-1}, \end{aligned} \quad (2)$$

в которых

$$\begin{aligned} d_{1mn} &= -c_{22}c_{44}c_{66}, \\ d_{2mn} &= c_{22}c_{44}\Delta_{1mn} + c_{44}c_{66}\Delta_{2mn} + c_{22}c_{66}\Delta_{3mn} + c_{44}\zeta_{1m}^2 + c_{66}\zeta_{3n}^2, \\ d_{3mn} &= -c_{44}\Delta_{1mn}\Delta_{2mn} - c_{22}\Delta_{1mn}\Delta_{3mn} - c_{66}\Delta_{2mn}\Delta_{3mn} - \zeta_{1m}^2\Delta_{3mn} - \zeta_{3n}^2\Delta_{1mn} + \\ &+ c_{22}\zeta_{2mn}^2 + 2\zeta_{1m}\zeta_{2mn}\zeta_{3n}, \quad d_{4mn} = \Delta_{1mn}\Delta_{2mn}\Delta_{3mn} - \zeta_{2mn}^2\Delta_{2mn}, \\ \Delta_{1mn} &= \Omega^2 - c_{11}\lambda_{1m}^2 - c_{55}\lambda_{2n}^2, \quad \Delta_{2mn} = \Omega^2 - c_{66}\lambda_{1m}^2 - c_{44}\lambda_{2n}^2, \\ \Delta_{3mn} &= \Omega^2 - c_{55}\lambda_{1m}^2 - c_{33}\lambda_{2n}^2, \quad \zeta_{1m} = -(c_{12} + c_{66})\lambda_{1m}, \\ \zeta_{2mn} &= -(c_{13} + c_{55})\lambda_{1m}\lambda_{2n}, \quad \zeta_{3n} = -(c_{23} + c_{44})\lambda_{2n}, \\ G_{mn}^{(1)}(\omega, \rho, c_{11}, c_{22}, c_{33}, c_{23}, c_{13}, c_{12}, c_{44}, c_{55}, c_{66}, a_1, a_2) &= \alpha(\omega, \rho, c_{pq}, a_q) + \\ &+ \beta(\omega, \rho, c_{pq}, a_q), \\ G_{mn}^{(j)}(\omega, \rho, c_{11}, c_{22}, c_{33}, c_{23}, c_{13}, c_{12}, c_{44}, c_{55}, c_{66}, a_1, a_2) &= -(\alpha(\omega, \rho, c_{pq}, a_q) + \\ &\beta(\omega, \rho, c_{pq}, a_q)) / 2 + (-1)^j i(3^{1/2} / 2)(\alpha(\omega, \rho, c_{pq}, a_q) - \\ &- \beta(\omega, \rho, c_{pq}, a_q)) \quad (j = \overline{2,3}), \\ \alpha(\omega, \rho, c_{pq}, a_q) &= (Q^{1/2}(\omega, \rho, c_{pq}, a_q) - L(\omega, \rho, c_{pq}, a_q) / 2)^{1/3}, \\ \beta(\omega, \rho, c_{pq}, a_q) &= (-Q^{1/2}(\omega, \rho, c_{pq}, a_q) - L(\omega, \rho, c_{pq}, a_q) / 2)^{1/3}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$Q(\omega, \rho, c_{pq}, a_q) = (P(\omega, \rho, c_{pq}, a_q)/3)^3 + (L(\omega, \rho, c_{pq}, a_q)/2)^2,$$

$$P(\omega, \rho, c_{pq}, a_q) = (3d_{1mn}d_{3mn} - d_{2mn}^2)/(3d_{1mn}^2),$$

$$L(\omega, \rho, c_{pq}, a_q) = (2d_{2mn}^3 - 9d_{1mn}d_{2mn}d_{3mn} + 27d_{1mn}^2d_{4mn})/(27d_{1mn}^3).$$

Дальнейшее исследование базируется на предположении об описании обладающих разбросами значений неопределенных экзогенных параметров рассматриваемой модели ρ, c_{pq}, a_q трапецеидальными нечеткими интервалами $\tilde{\rho}, \tilde{c}_{pq}, \tilde{a}_q$ с кортежами реперных точек

$$\tilde{\rho} = (\rho^{(1)}, \rho^{(2)}, \rho^{(3)}, \rho^{(4)}), \quad \tilde{c}_{pq} = (c_{pq}^{(1)}, c_{pq}^{(2)}, c_{pq}^{(3)}, c_{pq}^{(4)}), \quad a_q = (a_q^{(1)}, a_q^{(2)}, a_q^{(3)}, a_q^{(4)}),$$

записываемыми в форме суперпозиций α -срезов:

$$\tilde{\rho} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\rho}_\alpha, \bar{\rho}_\alpha], \quad \tilde{c}_{pq} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{c}_{pq\alpha}, \bar{c}_{pq\alpha}], \quad \tilde{a}_q = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{a}_{q\alpha}, \bar{a}_{q\alpha}], \quad (5)$$

$$\underline{\rho}_\alpha = (\rho^{(2)} - \rho^{(1)})\alpha + \rho^{(1)}, \quad \bar{\rho}_\alpha = (\rho^{(3)} - \rho^{(4)})\alpha + \rho^{(4)},$$

$$\underline{c}_{pq\alpha} = (c_{pq}^{(2)} - c_{pq}^{(1)})\alpha + c_{pq}^{(1)}, \quad \bar{c}_{pq\alpha} = (c_{pq}^{(3)} - c_{pq}^{(4)})\alpha + c_{pq}^{(4)},$$

$$\underline{a}_{q\alpha} = (a_q^{(2)} - a_q^{(1)})\alpha + a_q^{(1)}, \quad \bar{a}_{q\alpha} = (a_q^{(3)} - a_q^{(4)})\alpha + a_q^{(4)}.$$

При этом для эндогенных нечетко-множественных характеристик $\tilde{\Omega}_{mn}^{(p)}$, $\tilde{v}_f^{(qmn)}$ могут быть записаны представления вида

$$\tilde{\Omega}_{mn}^{(p)} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\Omega}_{mn\alpha}^{(p)}, \bar{\Omega}_{mn\alpha}^{(p)}], \quad \tilde{v}_f^{(qmn)} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{v}_{f\alpha}^{(qmn)}, \bar{v}_{f\alpha}^{(qmn)}],$$

где, в частности,

$$\begin{aligned} \underline{\Omega}_{mn\alpha}^{(1)} &= \inf\{F_{mn}^{(1)}(c_{44}, c_{66}, a_1, a_2)\}, & \bar{\Omega}_{mn\alpha}^{(1)} &= \sup\{F_{mn}^{(1)}(c_{44}, c_{66}, a_1, a_2)\}. \\ c_{44} &\in [\underline{c}_{44\alpha}, \bar{c}_{44\alpha}] & c_{44} &\in [\underline{c}_{44\alpha}, \bar{c}_{44\alpha}] \\ c_{66} &\in [\underline{c}_{66\alpha}, \bar{c}_{66\alpha}] & c_{66} &\in [\underline{c}_{66\alpha}, \bar{c}_{66\alpha}] \\ a_1 &\in [\underline{a}_{1\alpha}, \bar{a}_{1\alpha}] & a_1 &\in [\underline{a}_{1\alpha}, \bar{a}_{1\alpha}] \\ a_2 &\in [\underline{a}_{2\alpha}, \bar{a}_{2\alpha}] & a_2 &\in [\underline{a}_{2\alpha}, \bar{a}_{2\alpha}] \end{aligned}$$

Осуществлен численный анализ нечетких оценок для конкретных вариантов задания разбросов параметров модели. Полученные оценки отражают степень уверенности в том, что анализируемые частоты запираения и фазовые скорости будут принимать соответствующие значения при заданных разбросах.

Заключение. В итоге проведенных исследований построен теоретический алгоритм учета факторов неопределенности при оценках значений частот запираения и фазовых скоростей бегущих нормальных волн в ортотропных прямоугольных волноводах со скользящей заделкой граней.

ОСОБЕННОСТИ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДИСПЕРСИОННЫХ СПЕКТРОВ СДВИГОВЫХ НОРМАЛЬНЫХ ВОЛН В ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОМ ФУНКЦИОНАЛЬНО- ГРАДИЕНТНОМ УПРУГОМ СЛОЕ

Глухов А.А.,

Сторожев В.И., д-р техн. наук, профессор

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

stvi@donnu.ru

Введение. Фундаментальная проблема изучения структурных особенностей дисперсионных спектров нормальных упругих волн в деформируемых волноводах с различными геометрическими и физико-механическими характеристиками, сохраняет обширный круг подлежащих дальнейшему анализу аспектов. К их числу, в частности, относятся вопросы существования в изучаемых дисперсионных спектрах участков дисперсионных кривых с отрицательным наклоном, которым соответствуют ветви обратных нормальных упругих волн с противоположными знаками фазовых и групповых скоростей. Волны с указанными свойствами используются в целом ряде прикладных технологий. В частности, применительно к волноводам в форме упругого слоя, наличие мод данного типа было ранее установлено для спектров двухпарциальных продольно-сдвиговых нормальных P-SV волн. Новым актуальным разделом в исследованиях по данной проблематике является описание эффектов существования мод обратных нормальных упругих волн в волноводах в виде упругого слоя из современных анизотропных функционально-градиентных конструкционных материалов с непрерывной неоднородностью экспоненциального типа по толщинной координате. В этом контексте, целью настоящей работы является описание физико-механических свойств экспоненциально-неоднородных функционально-градиентных материалов, для которых данные эффекты проявляются в дисперсионных спектрах сдвиговых нормальных волн SH типа в слое.

Результаты исследований. Применительно к волноводу из функционально-градиентного ортотропного материала в виде занимающего в координатном пространстве область

$$V = \{(x_1, x_2) \in R^2, -h \leq x_3 \leq h\}$$

плоскопараллельного слоя с закрепленными гранями рассматривается процесс распространения вдоль осевого направления Ox_1 нормальных сдвиговых упругих волн SH типа с круговой частотой ω , волновым числом k и комплексной функцией волновых перемещений $u_2(x_1, x_3, t) = u_{20}(x_3) \exp(-i\omega t - kx_1)$. Физико-механические свойства слоя

описываются определяющими соотношениями и законом изменения плотности по толщине, имеющими вид

$$\sigma_{21} = c_{66} \cdot \exp(\lambda_{66}x_3) \partial_1 u_2, \quad \sigma_{23} = c_{44} \cdot \exp(\lambda_{44}x_3) \partial_3 u_2, \quad \rho = \rho_0 \cdot \exp(\lambda_\rho x_3),$$

$$\partial_j = \partial / \partial x_j.$$

Для рассматриваемого волновода проблема теоретического анализа спектра нормальных упругих волн на основе получения и исследования основного дисперсионного соотношения, включает задачу интегрирования дифференциального уравнения для амплитудной функции $u_{20}(x_3)$, имеющего вид

$$u_{20}''(x_3) + au_{20}'(x_3) + (be^{\alpha x_3} + ce^{\beta x_3})u_{20}(x_3) = 0,$$

в котором $a = \lambda_{44}$, $b = -k^2 c_{66} / c_{44}$, $c = \rho \omega^2 / c_{44}$, $\alpha = \lambda_{66} - \lambda_{44}$, $\beta = \lambda_\rho - \lambda_{44}$. При задании искомого представления $u_{20}(x_3)$ в виде

степенного ряда с неопределенными коэффициентами $u_{20}(x_3) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n x_3^n$ и

с использованием разложений $e^{\alpha x_3} = \sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n x_3^n / n!$, $e^{\beta x_3} = \sum_{n=0}^{\infty} \beta^n x_3^n / n!$, для

нахождения величин d_n получено рекуррентное соотношение

$$d_{n+2} = [(n+1)ad_{n+1} + \sum_{j=0}^n d_j ((b\alpha^{n-j} + c\beta^{n-j}) / (n-j)!)] ((n+1)(n+2))^{-1},$$

на основе которого при выборе $\{d_0 = 1, d_1 = 0\}$ и $\{d_0 = 0, d_1 = 1\}$ соответственно рассчитываются наборы коэффициентов, определяющие частные решения $F_1(x_3)$ и $F_2(x_3)$ уравнения относительно $u_{20}(x_3)$ и записывается представление вида $u_{20}(x_3) = C_1 F_1(x_3) + C_2 F_2(x_3)$ с неопределенными коэффициентами C_1, C_2 . Его использование позволяет получить из краевых условий $(u_{20}(x_3))_{x_3=\pm h} = 0$ подлежащее численному исследованию основное дисперсионное уравнение

$$D(\omega, k) = F_1(h)F_2(-h) - F_1(-h)F_2(h) = 0.$$

Вид рассчитанных по описанной методике диаграмм дисперсионных кривых для нормальных SH-волн в волноводах из материалов рассматриваемого типа указывает на существование при определенных сочетаниях параметров физико-механических свойств волноводов их дисперсионных спектров со специфической топологической структурой, примеры которой, в частности, представлены на рис.1, рис. 2 и рис. 3. Так, на рис.1, представлено распределение низших мод бегущих волн для слоя из материала с приведенными характеристиками $\lambda_{44} = 1.$, $\lambda_{66} = 0.5$, $\lambda_\rho = 1.$, $c_{44} = 1.$, $c_{66} = 2.$, $\rho_0 = 1.$; на рис. 2. – распределение низших мод бегущих волн для слоя из материала с

приведенными характеристиками $\lambda_{44} = 1., \lambda_{66} = 1., \lambda_{\rho} = 0.5,$
 $c_{44} = 1., c_{66} = 2., \rho_0 = 1.;$ на рис. 3. – распределение низших мод бегущих волн для слоя из материала с приведенными характеристиками $\lambda_{44} = 1., \lambda_{66} = 1., \lambda_{\rho} = -0.5, c_{44} = 1., c_{66} = 2., \rho_0 = 1.$ На представленных диаграммах имеются участки дисперсионных кривых бегущих волн с отрицательным наклоном, свидетельствующие о наличии в спектрах обратных нормальных волн сдвигового типа.

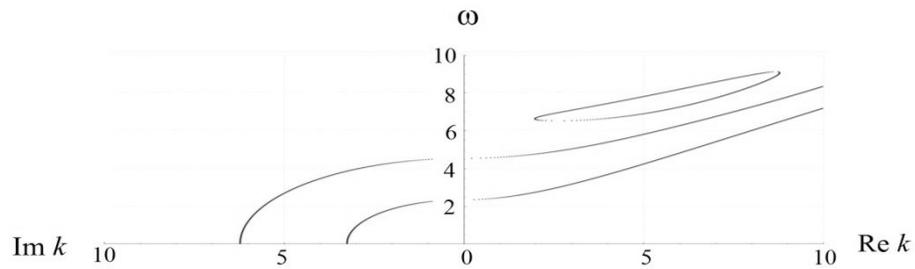


Рис. 1

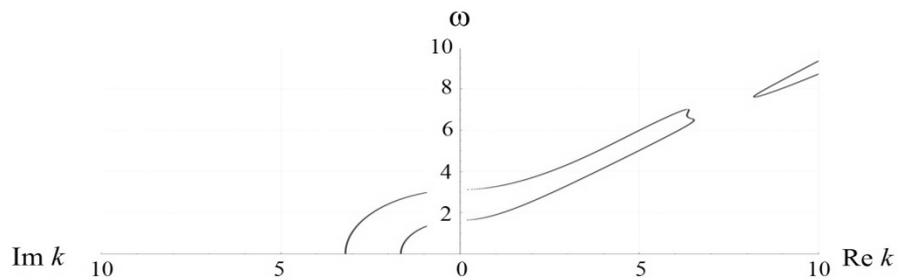


Рис. 2

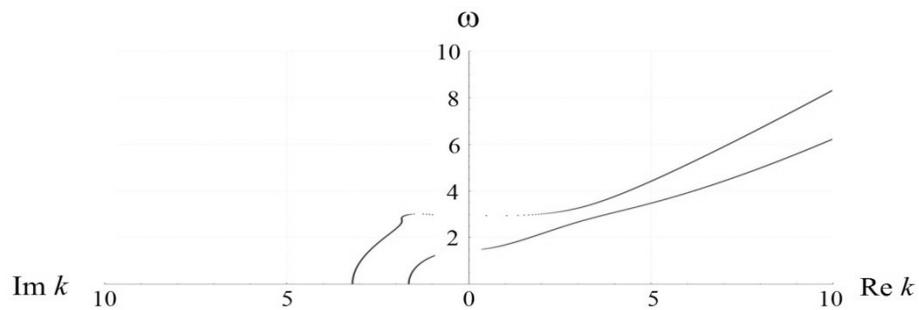


Рис. 3

Заключение. В результате исследования описана топологическая структура низших ветвей дисперсионных спектров сдвиговых нормальных волн в трансверсально-изотропном функционально-градиентном упругом слое, указывающая на наличие в спектре обратных нормальных волн.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПЬЕЗОПЛАСТИНОК, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛИНЕЙНОГО ПОТОКА ТЕПЛА

Глушанков Е.С.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

evgenij.glushankov@gmail.com

В различных областях современной науки и техники в качестве элементов конструкций находят применение пластинки из пьезоматериалов, находящиеся под действием линейного потока тепла. Часто по технологическим или эксплуатационным причинам пластинки содержат отверстия и трещины, около которых могут возникать высокие концентрации напряжений и плотности внутренней энергии. Это нельзя не учитывать при проектировании и эксплуатации конструкций. Поэтому является актуальным поиск эффективного метода определения энергетического состояния пьезопластинок, находящихся под действием линейного потока тепла.

В данной работе получено выражение для определения плотности внутренней энергии, а также с использованием обобщенных комплексных потенциалов и метода рядов решена задача для случая пластинки с одним эллиптическим отверстием или трещиной, приведены результаты соответствующих численных исследований.

Постановка и метод решения задачи. Рассмотрим отнесенную к прямоугольной декартовой системе координат Oxy пластинку, изготовленную из пьезоматериала. Энергетическое состояние пластинки определяется распределением плотности внутренней энергии U [1, 2], для которой получена билинейная форма:

$$U = \frac{1}{2} (\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \tau_{xy} \gamma_{xy} + D_x E_x + D_y E_y + B_x H_x + B_y H_y + (T + 2T_n) S), \quad (1)$$

в которой σ_x , σ_y , τ_{xy} и ε_x , ε_y , γ_{xy} – компоненты тензоров напряжений и деформаций соответственно; D_x , D_y и E_x , E_y – компоненты векторов индукции и напряженности электрического поля; B_x , B_y и H_x , H_y – компоненты векторов индукции и напряженности магнитного поля; T – температура; $T_n = 293,15$ К; S – удельная тепловая энтропия, определяемая по формуле [2]

$$S = \alpha_1 \sigma_x + \alpha_2 \sigma_y + \alpha_6 \tau_{xy} - t_1^\sigma D_x - t_2^\sigma D_y - m_1^\sigma B_x - m_2^\sigma B_y + \rho c_p T / T_n, \quad (2)$$

где α_i – коэффициенты теплового расширения материала пластинки, t_i^σ и m_i^σ – пьезоэлектрические и пьезомагнитные модули материала, ρ и c_p –

плотность и удельная теплоемкость материала. Плотность внутренней энергии определяется с точностью до аддитивной постоянной. Также с использованием уравнений термоэлектромагнитоупругого состояния получена и квадратичная форма для плотности внутренней энергии.

Пластинка с одним эллиптическим отверстием. Пусть бесконечная пластинка из пьезоматериала содержит эллиптическое отверстие с контуром L_1 . На контуре отверстия задана нулевая температура либо контур теплоизолирован. Также контур свободен от внешних механических усилий и электромагнитных воздействий. На бесконечности действует линейный поток тепла; механические и электромагнитные воздействия отсутствуют. Если выполняется условие потенциальности электромагнитного поля, порождаемого линейным потоком тепла [3], то задача сводится к определению комплексных потенциалов теплопроводности $F_5(z_5)$ и термоэлектромагнитоупругости $\Phi_k(z_k)$ ($k = \overline{1, 4}$), которые принимают вид [4]

$$F_5(z_5) = c_{511}\zeta_{51}^{-1}, \quad \Phi_k(z_k) = B_{k1} \ln \zeta_{k1} + a_{k12}\zeta_{k1}^{-2}, \quad (3)$$

где

$$z_k = x + \mu_k y, \quad (4)$$

μ_k – постоянные материала пластинки; c_{511} , a_{k12} – неизвестные коэффициенты разложений голоморфных функций в ряды Лорана, которые определяются из граничных условий; B_{k1} – известные постоянные; ζ_{k1} – переменные, определяемые из конформных отображений внешностей единичных кругов $|\zeta_{k1}| \geq 1$ на внешности эллипсов L_{k1} , получаемых из L_1 аффинными преобразованиями (4).

После определения комплексных потенциалов (3) из соответствующих граничных условий значения температуры, напряжений, деформаций, индукций и напряженностей электромагнитного поля вычисляются по формулам [4, 5]

$$T = T^* + 2 \operatorname{Re} F_5(z_5); \quad (5)$$

$$(\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}) = 2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^5 (\lambda_{1k}, \lambda_{2k}, \lambda_{6k}) \Phi'_k(z_k); \quad (6)$$

$$(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}) = (\varepsilon_x^*, \varepsilon_y^*, \gamma_{xy}^*) + 2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^5 (p_k, q_k \mu_k, q_k + p_k \mu_k) \Phi'_k(z_k); \quad (7)$$

$$(D_x, D_y, B_x, B_y) = 2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^5 (\lambda_{7k}, \lambda_{8k}, \lambda_{9k}, \lambda_{10k}) \Phi'_k(z_k); \quad (8)$$

$$(E_x, E_y, H_x, H_y) = (E_x^*, E_y^*, H_x^*, H_y^*) - 2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^5 (r_k^0, \mu_k r_k^0, h_k^0, \mu_k h_k^0) \Phi'_k(z_k), \quad (9)$$

в которых соответствующие величины со звездочкой определяются из решения задачи о действии линейного потока тепла в пьезопластинке без

отверстия [3]; $\Phi'_5(z_5) = r_5 F_5(z_5)$; λ_{ik} , p_k , q_k , r_k^0 , h_k^0 , r_5 – постоянные материала пластинки. После этого можно определять удельную энтропию по формуле (2), а затем – и плотность внутренней энергии по формуле (1).

Описание результатов численных исследований. Были проведены численные исследования для пластинок из различных материалов [4, 5]: 1) композит $BaTiO_3 - CoFe_2O_4$ (материал М1); 2) композит на основе $CdSe$ и $BaTiO_3$ (М2); 3) композит на основе $PZT - 4$ и $CoFe_2O_4$ (М3).

Исследованиями было установлено, что наибольших значений плотность внутренней энергии достигала в пластинке из материала М1, обладающего наибольшими пьезоэлектрическими и пирромагнитными модулями, наибольшей жесткостью и наибольшими значениями коэффициентов теплового расширения. В пластинке из материала М1 эти значения на 2-5 порядков выше, чем в пластинках из материалов М2 и М3. Также было установлено, что вклад электрических свойств материала в энергетическое состояние пластинки невелик, однако вклад магнитных свойств значителен. Особенно это заметно в пластинке из материала М1: при учете магнитных свойств значения плотности внутренней энергии возрастали на 2-3 порядка. Это связано с тем, что материал М1 проявляет наиболее сильные пьезомагнитные свойства. По этой причине при определении энергетического состояния пластинки следует учитывать все свойства материала. Жесткое подкрепление контура отверстия приводит к незначительному изменению энергетического состояния пластинки: росту плотности внутренней энергии в случае пластинки из материала М1 и ее уменьшению для пластинок из материалов М2 и М3. Если контур кругового отверстия теплоизолирован, то значения плотности внутренней энергии вблизи контура отверстия возрастают на 3-4 порядка по сравнению со случаем заданной нулевой температуры на контуре. Это связано с неравномерностью распределения температуры вблизи контура. Исследованиями также было установлено, что при уменьшении соотношения полуосей эллипса резко возрастает плотность внутренней энергии вблизи концов большой оси.

Список литературы

1. Най Дж. Физические свойства кристаллов и их описание при помощи тензоров и матриц. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960. – 388 с.
2. Новацкий В. Теория упругости. – М.: Мир, 1975. – 872 с.
3. Калоеров С.А. Потенциальные электромагнитные поля в пьезопластинах при механических, электромагнитных и тепловых воздействиях // Вестн. Донец. нац. ун-та. Сер. А: Естеств. науки. – 2016. – № 4. – С. 19–34.
4. Калоеров С.А., Глушанков Е.С. Действие линейного потока тепла в пьезопластинах // Вестн. Донец. нац. ун-та. Сер. А: Естеств. науки. – 2017. – № 1. – С. 12–25.
5. Калоеров С.А., Сорочан О.А. Плоская задача термоэлектромагнитоупругости для многосвязных сред // Прикладная механика. – 2009. – Т. 45, № 4. – С. 81–91.

ИЗГИБ ВЯЗКОУПРУГОЙ ПЛИТЫ С ОТВЕРСТИЯМИ И ТРЕЩИНАМИ

Калоеров С.А., д-р физ.-мат. наук, профессор,
Занько А.И., канд. физ.-мат. наук
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
al.zanko@mail.ru

Введение. С использованием комплексных потенциалов теории изгиба тонких анизотропных плит, метода малого параметра и обобщенного метода наименьших квадратов решена задача линейной вязкоупругости для многосвязной анизотропной плиты с отверстиями или трещинами. При построении решения комплексные потенциалы разлагаются в ряды по малому параметру, в качестве которого выбирается изменение во времени коэффициента деформации, находятся общие представления функций приближений, граничные условия для их определения. Затем конформными отображениями искомые функции разлагаются в ряды Лорана и по полиномам Фабера, для определения коэффициентов которых из граничных условий использованием обобщенного метода наименьших квадратов получается переопределенная система линейных алгебраических уравнений, решаемая методом сингулярного разложения матриц. По известным функциям приближений и представлением степеней малого параметра временными операторами находятся значения изгибающих моментов в любой момент времени. Случай изотропной тонкой плиты рассматривается как частный случай анизотропной.

Постановка и метод решения задачи. Рассмотрим занимающую бесконечную многосвязную область S тонкую анизотропную плиту с произвольно расположенными эллиптическими отверстиями L_l ($l = \overline{1, \mathcal{L}}$) с полуосями a_l , b_l . Плита находится под действием распределенных изгибающих моментов m_l на контурах. В общем случае эллипсы L_l могут переходить в прямолинейные разрезы, располагаться произвольно относительно друг друга, в том числе касаться, пересекаться, образуя контуры сложной конфигурации, аппроксимируемые дугами эллипсов и берегами прямолинейных разрезов.

Определение вязкоупругого напряженно-деформированного состояния рассматриваемой плиты при использовании комплексных потенциалов теории изгиба [1–3] и малого параметра λ сводится к нахождению из соответствующих граничных условий комплексных потенциалов приближений $W_{jk0}(z_k)$ ($k = 1, 2$), голоморфных в многосвязных

областях S_k , ограниченных контурами L_{kl} , соответствующими контурам L_l при известных аффинных преобразованиях.

С использованием методов конформных отображений и разложений функций в ряды Лорана и полиномам Фабера, для функций $W'_{jk0}(z_k)$ получены выражения

$$W'_{jk0}(z_k) = \sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_{kln} a_{jkl n}, \quad (1)$$

в которых $\varphi_{kln}(z_k)$ – известные функции, определяемые из конформных отображений внешности единичного круга на внешность эллипса; $a_{jkl n}$ – неизвестные постоянные определяемые из граничных условий на контурах отверстий. Удовлетворяя этим условиям обобщенным методом наименьших квадратов [3], для определения коэффициентов a_{kln} получим следующую переопределенную систему линейных алгебраических уравнений:

$$2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} g_{0ki\alpha} \delta_k \varphi'_{kln}(t_{klm}) a_{jkl n} = \frac{df_{ji\alpha}(t_{lm})}{ds} \left(i = \overline{1, \mathcal{L}}; m = \overline{1, M_i}; \alpha = 1, 2 \right), \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} \delta_k &= dz_k/ds, \quad g_{0ki1} = \frac{p_{0k}}{\mu_k}, \quad g_{0ki2} = \frac{q_{0k}}{\mu_k}, \\ f_{ji1} &= -\delta_j^0 \left(\int_0^s m_i dy + c_i x \right) - (1 - \delta_j^0) 2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 \sum_{n=0}^{j-1} \frac{p_{j-nk}}{\mu_k} W'_{nk}(z_k), \\ f_{ji2} &= -\delta_j^0 \left(\int_0^s m_i dx - c_i y \right) - (1 - \delta_j^0) 2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 \sum_{n=0}^{j-1} q_{j-nk} W'_{nk}(z_k). \end{aligned} \quad (3)$$

После решения системы (2) функции приближений $W'_{jk0}(z_k)$ становятся известными и, заменив в выражениях для моментов [4]

$$\begin{aligned} M_x &= -2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 \sum_{j=0}^J \lambda^j \sum_{n=0}^j p_{j-nk} W''_{nk}, \\ M_y &= -2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 \sum_{j=0}^J \lambda^j \sum_{n=0}^j q_{j-nk} W''_{nk}, \\ H_{xy} &= -2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 \sum_{j=0}^J r_k W''_{jk} \lambda^j, \end{aligned}$$

где J – количество оставляемых приближений, степени малого параметра λ^j временными операторами, найдем их значения в любой момент времени.

Описание результатов численных исследований. Численные исследования проведены для случая кругового кольца при действии

моментов m_0 на внешнем контуре и незагруженном внутреннем контуре. При проведении численных расчетов количество членов рядов (1) и точек, в которых удовлетворяли граничным условиям, увеличивались до тех пор, пока эти условия не удовлетворялись с достаточно высокой степенью точности. Количество приближений по степеням малого параметра увеличивалось до тех пор, пока последующее приближение изменяло значения изгибающих моментов в предыдущем приближении более чем на 0,01%. Эти значения для изотропного кольца оказались совпадающими с их значениями, вычисленными по точному решению задачи.

В результате проведенных исследований установлено, что с уменьшением ширины кольца значения изгибающих моментов на контурах плиты возрастают, причем значения моментов и их рост на контуре отверстия выше, чем на внешнем контуре. При значении ширины кольца меньшем 0,1 влияние одного из контуров кольца на напряженное состояние около второго незначительно: около внешнего контура моменты получаются такими, как в круглой плите без отверстия, около внутреннего – как в бесконечной плите с круговым отверстием. Чем выше «степень анизотропии», тем больше уровень концентрации изгибающих моментов (их максимальные по модулю значения). Наибольшая концентрация моментов наблюдается в кольце из материала анизотропного материала, наименьшая в кольце из изотропного материала.

Установлено, что с течением времени значения моментов изменяются значительно. При этом их большие изменения происходят лишь в первые 50 час. после приложения нагрузки, а через 200 час. они практически не изменяются, т.е. в плите устанавливается стационарное состояние.

Список литературы

1. Лехницкий С. Г. Анизотропные пластинки. – М.: Гостехиздат, 1957. – 463 с.
2. Калоеров С.А. Комплексные потенциалы теории изгиба многосвязных анизотропных плит // Теорет. и прикладная механика. – 2012. – № 4 (50). – С. 115 – 136.
3. Калоеров С.А., Занько А.И. Изгиб многосвязной анизотропной плиты сложной конфигурации // Актуальные пробл. механики деформируемого твердого тела: Тр. VII Междунар. науч. конф., Донецк–Мелекино, 11–14 июня 2013 г. – Донецк, 2013. – Т. 1. – С. 158–162.
4. Калоеров С.А., Занько А.И. Решение задачи линейной вязкоупругости для многосвязных анизотропных плит // Прикладная механика и техническая физика.– 2017. – Т. 58, № 2. – С. 141–151.

АНАЛИЗ НЕЛИНЕЙНЫХ ВТОРЫХ ГАРМОНИК ДЛЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ВОЛН ВДОЛЬ ПОЛОГО ТРАНСВЕРСАЛЬНО ИЗОТРОПНОГО ЦИЛИНДРА

Моисеенко И.А., д-р физ.-мат. наук, доцент,
Сидаш О.Ю.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
miamia733@mail.ru

Введение. Проблема анализа малых нелинейных ангармонических эффектов при распространении нормальных упругих волн в анизотропных цилиндрических телах пространственной геометрии относится к числу малоисследованных актуальных классов задач волновой механики деформируемых сред на сегодняшний день. Однако, несмотря на принципиальную важность, проблеме теоретического анализа указанных моделей посвящен на сегодняшний день весьма ограниченный круг реализованных исследований, связанный с анализом нелинейных ангармонических эффектов при распространении нормальных упругих волн крутильного типа в протяженных трансверсально-изотропных сплошных цилиндрах для различных типов однородных граничных условий. Это, прежде всего, обусловлено весьма высокой степенью сложности неоднородных краевых задач в моделях описания данных процессов применительно к волноводам пространственной геометрии.

Постановка задачи. Рассматривается протяженный волновод, имеющий в поперечном сечении форму концентрического кругового кольца с радиусами R_1 и R_2 . Вводится нормирующий параметр $R_* = (R_1 + R_2)/2$ и безразмерные параметры $r_1 = R_1/R_*$, $r_2 = R_2/R_*$, $h = (R_2 - R_1)/(R_1 + R_2)$. Водится также обобщенная кольцевая координата $w = (r - 1)/h$. При постановке задачи используются три, нормированные параметром R_* безразмерные системы координат, в которых область, занимаемая волноводом, описывается так: в декартовой системе координат $Ox_1x_2x_3 - V_1 = \left\{ \sqrt{x_1^2 + x_2^2} \in [r_1, r_2]; x_3 \in (-\infty, \infty) \right\}$; в цилиндрической системе координат $Or\theta z - V_2 = \left\{ r \in [r_1, r_2]; \theta \in [-\pi, \pi]; z \in (-\infty, \infty) \right\}$, в системе обобщенных кольцевых координат $Ow\theta z - V_3 = \left\{ w \in [-1, 1]; \theta \in [-\pi, \pi]; z \in (-\infty, \infty) \right\}$. В системе координат $Ow\theta z$ определяется также граничная поверхность волновода $\Gamma = \Gamma_1 \cup \Gamma_2$, где $\Gamma_j = \left\{ w = (-1)^j, \theta \in [-\pi, \pi], z \in (-\infty, \infty) \right\}$ ($j = \overline{1, 2}$).

В данном исследовании используется модель нелинейного динамического деформирования трансверсально-изотропных упругих сред с учетом эффектов физической и геометрической нелинейности, которая базируется на записываемых в тензорной форме в системе координат $Ox_1x_2x_3$ представлениях для конечных упругих деформаций ε_{jq}

$$\varepsilon_{jq} = (1/2)\delta(u_{j,q} + u_{q,j} + \delta u_{p,j} u_{p,q}) \quad (p, q, j = \overline{1,3}) \quad (1)$$

и функции упругого потенциала U

$$U = (1/2) c_{jqlm} \varepsilon_{jq} \varepsilon_{lm} + (1/6) c_{jqlmnp} \varepsilon_{jq} \varepsilon_{lm} \varepsilon_{np}, \quad (2)$$

содержащей безразмерные, отнесенные к нормирующему параметру c_* коэффициенты, выражаемые через компоненты тензоров упругих постоянных второго c_{jqlm} и третьего c_{jqlmnp} порядка. Здесь $\delta = u_*/R_*$; u_j ($j = \overline{1,3}$) – безразмерные, отнесенные к нормирующему параметру u_*

компоненты вектора динамических волновых упругих перемещений в системе координат $Ox_1x_2x_3$. Параметр u_* определяется в виде $u_* = \max_{\{r,\theta,z,t,\alpha\}} |\tilde{u}_\alpha(r,\theta,z,t)|$, где \tilde{u}_α ($\alpha = r,\theta,z$) – компоненты вектора

динамических волновых упругих перемещений в системе координат $Or\theta z$. Согласно гипотезе о малости исследуемых нелинейных волновых эффектов параметр δ полагается малым ($\delta \ll 1$). Тогда в рамках применяемой методологии безразмерные, отнесенные к нормирующему параметру u_* компоненты вектора упругих волновых перемещений u_α ($\alpha = r,\theta,z$) в системе координат $Or\theta z$ представляются в виде суммы

$$u_\alpha = u_\alpha^{(l)} + \delta u_\alpha^{(n)} \quad (\alpha = r,\theta,z), \quad (3)$$

включающей линейные составляющие $u_\alpha^{(l)}$ и нелинейные ангармонические возмущения $u_\alpha^{(n)}$, а выражения для безразмерных, отнесенных к нормирующему параметру c_* компонент тензора динамических напряжений $\sigma_{\alpha\beta}(u_r, u_\theta, u_z)$ для трансверсально-изотропного материала цилиндра, соответствующие представлениям (1) – (3), определяются в виде суммы линейных и квадратичных членов по степеням малого параметра δ

$$\sigma_{\alpha\beta}(u_r, u_\theta, u_z) = \delta \sigma_{\alpha\beta}^{(l)}(u_r^{(l)}, u_\theta^{(l)}, u_z^{(l)}) + \delta^2 \left(\sigma_{\alpha\beta}^{(l)}(u_r^{(n)}, u_\theta^{(n)}, u_z^{(n)}) + \sigma_{\alpha\beta}^{(n)}(u_r^{(l)}, u_\theta^{(l)}, u_z^{(l)}) \right) \quad (\alpha, \beta = r,\theta,z). \quad (4)$$

В результате подстановки представлений (3), (4) в уравнения движения

$$\begin{aligned} r^{-1} \partial_r (r \sigma_{rr}) + r^{-1} \partial_\theta \sigma_{r\theta} + \partial_z \sigma_{rz} - r^{-1} \sigma_{\theta\theta} - \delta (\rho R_*^2 / c_*) \partial_t^2 u_r &= 0, \\ r^{-1} \partial_r (r \sigma_{\theta r}) + r^{-1} \partial_\theta \sigma_{\theta\theta} + \partial_z \sigma_{\theta z} + r^{-1} \sigma_{r\theta} - \delta (\rho R_*^2 / c_*) \partial_t^2 u_\theta &= 0, \\ r^{-1} \partial_r (r \sigma_{zr}) + r^{-1} \partial_\theta \sigma_{z\theta} + \partial_z \sigma_{zz} - \delta (\rho R_*^2 / c_*) \partial_t^2 u_z &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

последующего перехода к обобщенной кольцевой координате w , ограничения модели рассмотрением случая только осесимметричных волн, на основании матричных представлений для линейных составляющих $u_\alpha^{(l)}$ и нелинейных ангармонических возмущений $u_\alpha^{(n)}$ безразмерных компонент вектора упругих перемещений u_α ($\alpha = r, \theta, z$) вида

$$\begin{aligned} \left[u_r^{(l)}(x, z, t), u_\theta^{(l)}(x, z, t), u_z^{(l)}(x, z, t) \right]^T &= \exp(-i(\omega t - k z)) \sum_{m=0}^{\infty} x^m \left[\mathbf{X}_m^{(l)}, \mathbf{Y}_m^{(l)} \right], \\ \left[u_r^{(n)}(x, z, t), u_\theta^{(n)}(x, z, t), u_z^{(n)}(x, z, t) \right]^T &= \exp(-2i(\omega t - k z)) \sum_{m=0}^{\infty} x^m \left[\mathbf{X}_m^{(n)}, \mathbf{Y}_m^{(n)} \right] \\ w &\in [-1, 1] \end{aligned} \quad (6)$$

в волнах с круговой частотой ω и нормированным параметром R_* волновым числом k , с учетом граничных условий свободной $\sigma_{rr}|_\Gamma = \sigma_{r\theta}|_\Gamma = \sigma_{rz}|_\Gamma = 0$, жестко закрепленной $u_r|_\Gamma = u_\theta|_\Gamma = u_z|_\Gamma = 0$ либо покрытой абсолютно гибким нерастяжимым (микроданцирным) покрытием $\sigma_{rr}|_\Gamma = u_\theta|_\Gamma = u_z|_\Gamma = 0$ граничной поверхности волновода и последующего приравнивания слагаемых одинакового порядка малости по степени малого параметра δ записывается рекуррентная последовательность граничных задач, включающих систему обыкновенных дифференциальных уравнений и соответствующие краевые условия. Из полученных однородной и неоднородной граничных задач последовательно определяются явные рекуррентные представления для матричных размерности 3×3 коэффициентов $\mathbf{X}_m^{(l)}$, $\mathbf{Y}_m^{(l)}$ и $\mathbf{X}_m^{(n)}$, $\mathbf{Y}_m^{(n)}$ в равномерно и абсолютно сходящихся степенных рядах соотношений (6). В представлениях (6) T обозначает операцию транспонирования.

Заключение. Решена задача разработки теоретической численно-аналитической методики исследования нелинейных ангармонических эффектов при распространении осесимметричных нормальных упругих волн в протяженных трансверсально-изотропных цилиндрических телах концентрического кольцевого сечения со свободными, жестко закрепленными либо имеющими абсолютно гибкое нерастяжимое мембранное покрытие граничными поверхностями. С применением разработанной методики получен ряд данных о кинематических свойствах нелинейных вторых гармоник для уединенных монохроматических нормальных упругих волн крутильного типа в полых цилиндрах из реального материала рассматриваемого типа. Полученные результаты перспективны для использования в прикладных исследованиях, связанных с расчетами характеристик волноводных компонентов акустоэлектронных устройств, анализа моделей ультразвуковой диагностики.

**ВЯЗКОУПРУГОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
АНИЗОТРОПНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД С ЖЕСТКО
ПОДКРЕПЛЕННОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКОЙ
ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО СЕЧЕНИЯ**

Нескородев Р.Н., канд. физ.-мат. наук, доцент,
Сторожев В.И., д-р техн. наук, профессор
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
kf.tuvm@donnu.ru

Введение. При помощи методики преобразования интегральных уравнений состояния вязкоупругих сред к временным уравнениям закона Гука в работе [1] получены соотношения замкнутой теории напряженного состояния анизотропного массива горных пород, учитывающая свойства материала деформироваться во времени. Предложенный подход не требует построения аналитических представлений ядер ползучести и релаксации в специальной форме. С использованием данной методики в работе [2] исследовано вязкоупругое напряженное состояние анизотропного горного массива с протяженной, свободной от загрузки, горизонтальной выработкой эллиптического сечения.

В настоящей работе методика перехода к параметрическим определяющим уравнениям применена для исследования напряженно-деформированного состояния анизотропных горных пород с жестко подкрепленной по границе выработкой эллиптического сечения в условиях длительного времени ее эксплуатации.

Основные уравнения теории вязкоупругости горных пород. В рамках постановки задачи полагается, что рассматриваемый массив горных пород занимает нижнее полупространство, в декартовой системе координат $Ox_1x_2x_3$, начало системы размещено на глубине H , ось Ox_2 направлена вертикально вверх, а плоскость Ox_1x_3 параллельна плоскости, ограничивающей полупространство. В момент образования выработки (время $t=0$) упругие постоянные исследуемого материала характеризуются матрицей \mathbf{A} (модулей упругости), либо матрицей \mathbf{a} (коэффициентов деформации), а решение является упругим. Дальнейшая эксплуатация выработки (время $t>0$) приводит к тому, что материал продолжает деформироваться. Для описания этого процесса и определения напряженно-деформированного состояния в окрестности выработки в работе [1] приведена замкнутая теория механического состояния среды, учитывающая свойство материала деформироваться во времени. Предложенный подход не требует построения аналитического представления ядер ползучести и релаксации в специальной форме. В

упомянутой работе также для изотропных и трансропных горных пород алевролит и песчаник приведены упругие и реологические постоянные. На основе свойств резольвентных операторов для интегральных уравнений с ядрами произвольного вида, предложены соотношения для построения элементов матрицы уравнений состояния.

В работе [3] показано, что если плоскость изотропии расположена под углом φ к горизонту, а выработка направлена под углом ψ к плоскости изотропии и система координат $Ox_1x_2x_3$ связана с поперечным сечением выработки, то уравнения состояния будут иметь вид уравнений материала, обладающего общей анизотропией.

Напряженное состояние горного массива представим состоящим из: 1) начального поля смещений u_i^0 и напряжений σ_k^0 в нетронутом массиве и 2) дополнительного поля смещений u_i^* и напряжений σ_k^* , возникающего при появлении выработки.

Перемещения и напряжения нетронутого массива определяется из соотношений [3]

$$u_i^0 = -\alpha_i \rho g H \left(x_2 - \frac{x_2^2}{2H} \right) \quad (i = \overline{1,3}), \quad \sigma_k^0 = -\tau_k \rho g H (1 - x_2 / H) \quad (k = \overline{1,6}). \quad (1)$$

где величины α_i , τ_k зависят от упругих постоянных; ρ – плотность породного массива; g – ускорение силы тяжести.

Общие представления для перемещений u_i^* выражаются через три аналитические функции $\Phi_j(z_j)$ обобщенных комплексных переменных $z_j = x_1 + \mu_j x_2$ и имеют вид [3]:

$$u_i^* = 2 \operatorname{Re} \sum_{j=1}^3 R_{ij} \Phi_j(z_j). \quad (2)$$

Для определения напряженного состояния горного массива с жестко подкрепленной выработкой за счет сил гравитации нужно удовлетворить граничным условиям на контуре выработки. Эти условия имеют вид

$$u_i^* + u_i^0 = 0. \quad (3)$$

Подставляя в (3) выражения для u_i^* и u_i^0 из соотношений (1) и (2), получим граничные условия для нахождения функций $\Phi_j(z_j)$ [3]

$$2 \operatorname{Re} \sum_{j=1}^3 R_{ij} \Phi_j(z_j) = \alpha_i \rho g H x_2 (1 - x_2 / 2 / H) \quad (i = \overline{1,3}) \quad (4)$$

Если выработка находится на большой глубине, то при определении напряжений и перемещений вблизи ее в формулах (1), (2) и (4) можно пренебречь величиной x_2 / H .

Для случая выработки эллиптического сечения с параметрическим заданием контура $x_1 = a \cos \theta$, $x_2 = b \sin \theta$, $0 \leq \theta \leq 2\pi$ функцию $\Phi_j(z_j)$ можно представить в виде

$$\Phi_j(z_j) = a_j / \zeta_j, \quad (5)$$

где переменные ζ_j связаны с z_j зависимостями $z_j = R_j \zeta_j + m_j / \zeta_j$, $R_j = (a - i\mu_j b) / 2$, $m_j = (a + i\mu_j b) / 2$.

Учитывая, что на контуре единичного круга имеет место равенство $\zeta_j = \sigma = \cos \theta + i \sin \theta$ методом рядов из граничных условий (4) получим систему уравнений относительно коэффициентов a_j :

$$R_{p1}a_1 + R_{p2}a_2 + R_{p3}a_3 = \alpha_p \rho g H b i / 2 \quad (p = \overline{1,3}). \quad (6)$$

После нахождения коэффициентов a_j напряжения определяются из соотношений [3]

$$\sigma_k = \sigma_k^0 + 2 \operatorname{Re} \sum_{j=1}^3 P_{kj} \Phi'_j(z_j) \quad (k = \overline{1,6}). \quad (7)$$

Численные исследования. Проведены численные исследования распределения напряжений, действующих вблизи контура на площадках, касательных и нормальных к нему в зависимости от соотношения полуосей эллиптического сечения выработки, материала горных пород и времени действия нагрузок. Расчеты выполнены для изотропных и трансформированных горных пород алеврит и песчаник, упругие и реологические постоянные которых даны в работе [1]. Сравнение результатов, полученных по предложенной методике, хорошо согласуются с результатами, полученными другими авторами для изотропного песчаника. Исследования показали, что наибольшая концентрация напряжений σ_n возникает в случае, когда большая полуось вертикальна. С течением времени происходит релаксация максимальных значений напряжений σ_n , σ_θ и $\tau_{n\theta}$ с уменьшением по абсолютной величине.

Список литературы

1. Нескородев Р. Н. Метод преобразования интегральных уравнений состояния к временным уравнениям закона Гука / Р. Н. Нескородев // Вестн. Донец. нац. ун-та. Сер. А, Естеств. науки. – 2016. – Вып. 3. – С. 10–21.
2. Нескородев Р. Н. Ползучесть анизотропных горных пород с выработками в условиях обобщенной плоской деформации / Р. Н. Нескородев // Вестн. Донец. нац. ун-та. Сер. А, Естеств. науки. – 2016. – Вып. 4. – С. 50–57.
3. Нескородев Н. М. Напряжения вокруг выработок в анизотропном горном массиве / Н. М. Нескородев, Р. Н. Нескородев. – Донецк: ДонНУ, 2003. – 148 с.
4. Ержанов Ж. С. Теория ползучести горных пород и ее приложения / Ж. С. Ержанов. – Алма-Ата: Наука, 1964. – 175 с.

ЭФФЕКТЫ ПРОХОЖДЕНИЯ СДВИГОВЫХ НОРМАЛЬНЫХ ВОЛН ПО СОСТАВНОМУ ВОЛНОВОДУ ИЗ КОНТАКТИРУЮЩИХ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНО- ГРАДИЕНТНЫХ ПОЛУСЛОЕВ

Пачева М.Н.,

Сторожев В.И., д-р техн. наук, профессор

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

stvi@donnu.ru

Введение. Вопросы теоретического численно-аналитического исследования процессов прохождения упругих волн по составным волноводам кусочно-однородной структуры рассматривались в публикациях [1, 2], и на сегодняшний момент по-прежнему представляют интерес для современных приложений в технологиях ультразвуковой диагностики, в механике машин, приборов и сооружений, акустоэлектронике и геоакустике. Новые актуальные варианты постановки задач такого класса, наряду с существованием не исследованных ранее случаев рассматриваемых проблем с важными сферами прикладного использования, обусловлены на сегодняшний день также и расширяющимся использованием новых классов непрерывно-неоднородных функционально-градиентных материалов, создаваемых методами 3D печати. В этой связи, предметом исследования в настоящей работе является разработка методики анализа закономерностей прохождения нормальных сдвиговых упругих волн через плоскую границу контакта двух полуслоев одинаковой толщины из разнотипных трансверсально-изотропных функционально-градиентных конструкционных материалов.

Результаты исследований. В рамках исследуемой проблемы рассматривается кусочно-однородное составное упругое тело из двух контактирующих по торцевым поверхностям и жестко закрепленных по плоским граням полуслоев, занимающее в координатном пространстве $Ox_1x_2x_3$ область

$$V = V^{(+)} \cup V^{(-)}, \quad (1)$$

$$V^{(+)} = \{0 \leq x_1 < \infty, -\infty < x_2 < \infty, -h \leq x_3 \leq h\},$$

$$V^{(-)} = \{-\infty < x_1 \leq 0, -\infty < x_2 < \infty, -h \leq x_3 \leq h\}.$$

Трансверсально-изотропные непрерывно-неоднородные компоненты $V^{(+)}$, $V^{(-)}$ составного волновода при сдвиговом деформировании в плоскостях $x_1 = const$ характеризуются модулями упругости

$\tilde{c}_{pq}^{(+)} = c_{pq}^{(+)} \cdot \exp(\lambda_+ x_3)$, $\tilde{c}_{pq}^{(-)} = c_{pq}^{(-)} \cdot \exp(\lambda_- x_3)$ ($i, j = 44, 66$) и модулями плотности $\tilde{\rho}^{(+)} = \rho_+ \cdot \exp(\lambda_+ x_3)$, $\tilde{\rho}^{(-)} = \rho_- \cdot \exp(\lambda_- x_3)$.

Полагается, что из глубины компоненты $V^{(-)}$ на плоскую контактную поверхность $\Gamma = \{x_1 = 0, -\infty < x_2 < \infty, -h \leq x_3 \leq h\}$ вдоль положительного направления координатной оси Ox_1 падает нормальная волна SH типа с циклической частотой ω из некоторой моды дисперсионного спектра для слоя материала составляющей $V^{(-)}$ с комплексным представлением функции волновых перемещений

$$u_2^{(I)}(x_1, x_3, t) = u_{20}^{(I)}(x_3) \exp(-i(\omega t - k_I x_1)). \quad (2)$$

Ее взаимодействие с поверхностью Γ сопровождается генерированием полей отражаемых $u_2^{(-)}(x_1, x_3, t)$ и проходящих в $V^{(+)}$ волн $u_2^{(+)}(x_1, x_3, t)$, представимых разложениями по базисным множествам бегущих и краевых стоячих волн в соответствующем волноводе – слое с весовыми коэффициентами $a_m^{(\pm)}$:

$$u_2^{(+)}(x_1, x_3, t) = \sum_{m=1}^{\infty} a_m^{(+)} u_{20m}^{(+)}(x_3) \exp(-i(\omega t - k_{m+} x_1)), \quad (3)$$

$$u_2^{(-)}(x_1, x_3, t) = u_{20I}^{(-)}(x_3) \exp(-i(\omega t - k_I x_1)) + \sum_{m=1}^{\infty} a_m^{(-)} u_{20m}^{(-)}(x_3) \exp(-i(\omega t - k_{m-} x_1)).$$

Представления амплитудных комплексных функций волновых перемещений в базисных нормальных волнах для $V^{(+)}$, $V^{(-)}$ и в падающей волне соответственно определяются из уравнений

$$-c_{66}^{(\pm)} k_{\pm}^2 u_{20}^{(\pm)}(x_3) + c_{44}^{(\pm)} \lambda_{\pm} \partial_3 u_{20}^{(\pm)}(x_3) + c_{44}^{(\pm)} \partial_3^2 u_{20}^{(\pm)}(x_3) + \rho_{\pm} \omega^2 u_{20}^{(\pm)}(x_3) = 0 \quad (4)$$

$$\partial_3 = \partial / \partial x_3,$$

и для $u_{20m}^{(\pm)}(x_3)$ и $k_{m\pm}$ с учетом краевых условий на закрепленных плоских гранях в составляющих $V^{(+)}$, $V^{(-)}$ могут быть записаны представления

$$u_{20m}^{(\pm)}(x_3) = [\exp(i\gamma_m x_3) - \exp(2i\gamma_m h) \exp(-i\gamma_m x_3)] \exp(-\lambda_{\pm} x_3 / 2), \quad (5)$$

$$\gamma_m = m\pi / (2h);$$

$$k_{m\pm} = [(c_{66}^{(\pm)})^{-1} (\rho \omega^2 - c_{44}^{(\pm)} (\gamma_m^2 + (\lambda_{\pm} / 2)^2))]^{1/2}.$$

Коэффициенты $a_m^{(\pm)}$ построенных разложений подлежат определению из функциональных контактных условий

$$(u_2^{(+)})_{\Gamma} = (u_2^{(-)})_{\Gamma}, \quad (\sigma_{12}^{(+)})_{\Gamma} = (\sigma_{12}^{(-)})_{\Gamma}, \quad (6)$$

допускающих преобразование к виду

$$\sum_{m=1}^{\infty} a_m^{(+)} u_{20m}^{(+)}(x_3) - \sum_{m=1}^{\infty} a_m^{(-)} u_{20m}^{(-)}(x_3) = u_{20I}^{(-)}(x_3), \quad (7)$$

$$x_3 \in [-h, h];$$

$$\sum_{m=1}^{\infty} a_m^{(+)} c_{66}^{(+)} k_{m+} u_{20m}^{(+)}(x_3) - \sum_{m=1}^{\infty} a_m^{(-)} c_{66}^{(-)} k_{m-} u_{20m}^{(-)}(x_3) = c_{66}^{(-)} k_{I-} u_{20I}^{(-)}(x_3),$$

$$x_3 \in [-h, h].$$

Нахождение коэффициентов из полученных функциональных уравнений (7) реализуется на основе их предварительной алгебраизации и редуцирования на базе применяемых для этого методов коллокаций, наименьших квадратов, ортогональных рядов.

В процессе представляемого исследования осуществлено применение для алгебраизации описанных функциональных уравнений метода ортогональных рядов; выполнен цикл численных исследований, в рамках которого проведен анализ влияния величин показателей экспоненциальной неоднородности физико-механических свойств для контактирующих полубесконечных составляющих кусочно-однородного волновода на пропорции в амплитудных и энергетических характеристиках полей отраженных и прошедших границу раздела сдвиговых нормальных волн. Проведен также параметрический частотный анализ этих характеристик.

Заключение. Итогом проведенных исследований является теоретический алгоритм анализа закономерностей прохождения нормальных сдвиговых упругих волн через плоскую границу контакта двух полуслоев одинаковой толщины из разнотипных трансверсально-изотропных функционально-градиентных конструкционных материалов. На базе конкретных случаев применения представленной методики решения задач рассматриваемого класса описаны некоторые особенности влияния фактора экспоненциальной неоднородности материалов образующих составной волновод полупространств на кинематические и энергетические свойства отраженных и прошедших границу раздела сдвиговых нормальных волн.

Список литературы

1. Гетман И.П., Устинов Ю.А. Математическая теория нерегулярных твердых волноводов. – Ростов–на–Дону: Изд–во РГУ. – 1993. – 144 с.
2. Гринченко В.Т., Вовк И.В., Маципура В.Т. Основы акустики. – Киев: Наукова думка, 2007. – 640 с.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ ВОЛН СДВИГА В ДВУХСЛОЙНОМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНОМ ВОЛНОВОДЕ СИММЕТРИЧНОГО СТРОЕНИЯ

*Прийменко С.А.*¹, канд. физ.-мат. наук, доцент,

*Номбре С.Б.*², канд. физ.-мат. наук, доцент,

*Сторожев С.В.*², канд. экон. наук, доцент

¹ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

²ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

г. Макеевка, ДНР

stvi@donnu.ru

Введение. Исследование закономерностей распространения волн деформаций в многослойных плоских конструкционных элементах машин, приборов и сооружений самого широкого назначения представляет в настоящее время особый интерес в связи с использованием при их изготовлении новых классов создаваемых методами 3D печати функционально-градиентных материалов. Данные, получаемые при исследованиях характеристик волнового деформирования в конструкциях такого типа, находят применение как для прогнозирования их динамической прочности и деформативности, так и в технологиях ультразвуковой диагностики параметров их качества и надежности. При этом важнейшим аспектом таких исследований остается учет разбросов в определяемых эндогенных характеристиках рассматриваемых расчетных моделей, обусловленных неконтрастностью в задании экспериментальных значений экзогенных параметров физико-механической и геометрической природы. Целью представляемого исследования в рамках представленных соображений является получение оценок для неопределенных характеристик фазовых скоростей бегущих нормальных волн сдвига в двухслойном свободном по внешним граням функционально-градиентном трансверсально-изотропном волноводе симметричного строения с абсолютно гибкой нерастяжимой тонкой безинерционной прослойкой в срединной плоскости волновода на основе применения аппарата теории нечетких множеств.

Результаты исследований. На первом этапе построения методики нечетко-множественного оценивания фазовых скоростей бегущих симметричных по толщине нормальных волн сдвига в волноводе исследуемого типа, занимающем область

$$V = V^{(+)} \cup V^{(-)}, \quad V^{(+)} = \{(x_1, x_2) \in R^2, 0 \leq x_3 \leq h\},$$

$$V^{(-)} = \{(x_1, x_2) \in R^2, -h \leq x_3 \leq 0\},$$

и образуем трансверсально-изотропными непрерывно-неоднородными по толщинной координате слоями $V^{(+)}$, $V^{(-)}$ с модулями упругости $c_{pq}^{(+)} = c_{pq} \cdot \exp(\lambda x_3)$, $c_{pq}^{(-)} = c_{pq} \cdot \exp(-\lambda x_3)$ ($i, j = 44, 66$) и модулями плотности $\rho^{(+)} = \rho \cdot \exp(\lambda x_3)$, $\rho^{(-)} = \rho \cdot \exp(-\lambda x_3)$, на основе аналитического интегрирования уравнения стационарного волнового деформирования

$$c_{66}^{(\pm)} \partial_1^2 u_2(x_1, x_3) + c_{44}^{(\pm)} \lambda \partial_3 u_2(x_1, x_3) + c_{44}^{(\pm)} \partial_3^2 u_2(x_1, x_3) + \rho^{(\pm)} \omega^2 u_2(x_1, x_3) = 0,$$

$$\partial_j = \partial / \partial x_j,$$

описывающего распространение вдоль координатного направления Ox_1 нормальной волны SH-типа с круговой частотой ω , волновым числом k и амплитудной функцией колебательных смещений $u_2(x_1, x_3)$, вводятся представления

$$u_2(x_1, x_3) = \begin{cases} (a_+ \sin \gamma x_3 + b_+ \cos \gamma x_3) \exp(-(\lambda/2)x_3 + ikx_1), & 0 \leq x_3 \leq h; \\ (a_- \sin \gamma x_3 + b_- \cos \gamma x_3) \exp((\lambda/2)x_3 + ikx_1), & -h \leq x_3 \leq 0; \end{cases}$$

$$\gamma = [(\rho \omega^2 - c_{66} k^2) / c_{44} - (\lambda/2)^2]^{1/2},$$

которые с учетом условий симметрии $u_2(x_1, x_3) = u_2(x_1, -x_3)$ и наличия гибкой нерастяжимой прослойки в срединной плоскости $u_2(x_1, 0) = 0$, а также краевых условий на внешних гранях $(\partial_3 u_2(x_1, x_3))_{x_3=\pm h} = 0$, преобразуются к виду

$$u_2(x_1, x_3) = \begin{cases} u(\sin \gamma x_3 + (\cos(\gamma h) / \sin(\gamma h)) \cos \gamma x_3) \cdot \\ \cdot \exp(-(\lambda/2)x_3 + ikx_1), & 0 \leq x_3 \leq h; \\ u(-\sin \gamma x_3 + (\cos(\gamma h) / \sin(\gamma h)) \cos \gamma x_3) \cdot \\ \cdot \exp((\lambda/2)x_3 + ikx_1), & -h \leq x_3 \leq 0; \end{cases}$$

а далее приводят к дисперсионному соотношению $\text{ctg}(\gamma h) = 0$ и к соответствующему варианту аналитического представления фазовых скоростей v_{fn} нормальных волн длины L_n из моды с номером n исследуемого спектра в рамках детерминистического варианта модели

$$v_{fn} = F(c_{44}, c_{66}, \lambda, \rho, L_n, h) = [\rho^{-1} [c_{66} + c_{44} (L_n / (2\pi))^2 ((\lambda/2)^2 + ((2n+1)\pi / (2h))^2)]^{1/2}.$$

Дальнейшее исследование рассматриваемой проблемы базируется на предположении о возможности описания обладающих разбросами значений неопределенных экзогенных параметров рассматриваемой модели $c_{44}, c_{66}, \lambda, \rho, L_n, h$ трапецеидальными нечеткими интервалами $\tilde{c}_{44}, \tilde{c}_{66}, \tilde{\lambda}, \tilde{\rho}, \tilde{L}_n, \tilde{h}$, задаваемыми соответствующими кортежами реперных точек

$\tilde{c}_{44} = (c_{44}^{(1)}, c_{44}^{(2)}, c_{44}^{(3)}, c_{44}^{(4)}), \tilde{c}_{66} = (c_{66}^{(1)}, c_{66}^{(2)}, c_{66}^{(3)}, c_{66}^{(4)}), \tilde{\lambda} = (\lambda^{(1)}, \lambda^{(2)}, \lambda^{(3)}, \lambda^{(4)}),$
 $\tilde{\rho} = (\rho^{(1)}, \rho^{(2)}, \rho^{(3)}, \rho^{(4)}), \tilde{L}_n = (L_n^{(1)}, L_n^{(2)}, L_n^{(3)}, L_n^{(4)}), \tilde{h} = (h^{(1)}, h^{(2)}, h^{(3)}, h^{(4)}),$
 и представимыми в форме суперпозиций α -срезов:

$$\begin{aligned}
 \tilde{c}_{44} &= \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{c}_{44\alpha}, \bar{c}_{44\alpha}], \quad \tilde{c}_{66} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{c}_{66\alpha}, \bar{c}_{66\alpha}], \\
 \tilde{\lambda} &= \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\lambda}_\alpha, \bar{\lambda}_\alpha], \quad \tilde{\rho} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\rho}_\alpha, \bar{\rho}_\alpha], \\
 \tilde{L}_n &= \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{L}_{n\alpha}, \bar{L}_{n\alpha}], \quad \tilde{h} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{h}_\alpha, \bar{h}_\alpha],
 \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
 \underline{c}_{44\alpha} &= (c_{44}^{(2)} - c_{44}^{(1)})\alpha + c_{44}^{(1)}, \quad \bar{c}_{44\alpha} = (c_{44}^{(3)} - c_{44}^{(4)})\alpha + c_{44}^{(4)}, \dots, \\
 \underline{h}_\alpha &= (h^{(2)} - h^{(1)})\alpha + h^{(1)}, \quad \bar{h}_\alpha = (h^{(3)} - h^{(4)})\alpha + h^{(4)}.
 \end{aligned}$$

При этом, на основе использования модифицированной версии эвристического принципа обобщения с учетом свойств $\partial F / \partial c_{44} > 0$, $\partial F / \partial c_{66} > 0$, $\partial F / \partial \lambda > 0$, $\partial F / \partial \rho < 0$, $\partial F / \partial L_n > 0$, $\partial F / \partial h < 0$, для искомой нечетко-множественной характеристики \tilde{v}_{fn} может быть записано представление вида

$$\tilde{v}_{fn} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{v}_{fn\alpha}, \bar{v}_{fn\alpha}],$$

где

$$\begin{aligned}
 \underline{v}_{fn\alpha} &= F(\underline{c}_{44\alpha}, \underline{c}_{66\alpha}, \underline{\lambda}_\alpha, \underline{\rho}_\alpha, \underline{L}_{n\alpha}, \underline{h}_\alpha), \\
 \bar{v}_{fn\alpha} &= F(\bar{c}_{44\alpha}, \bar{c}_{66\alpha}, \bar{\lambda}_\alpha, \bar{\rho}_\alpha, \bar{L}_{n\alpha}, \bar{h}_\alpha).
 \end{aligned}$$

Осуществлен численный анализ полученных представлений для ряда конкретных вариантов задания нечетких экзогенных параметров модели. Полученные оценки отражают уровни относительных показателей степени уверенности в том, что анализируемая фазовая скорость будет принимать соответствующее значение при задаваемых разбросах в значениях экзогенных параметров модели.

Заключение. Итогом проведенных исследований является теоретический алгоритм учета факторов неопределенности при оценках значений фазовых скоростей бегущих нормальных волн сдвига в двухслойном сводном по внешним граням функционально-градиентном трансверсально-изотропном волноводе симметричного строения с абсолютно гибкой нерастяжимой тонкой безинерционной прослойкой в срединной плоскости волновода.

АНАЛИЗ БЕЗМОМЕНТНОГО НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН НА БАЗЕ ОБОБЩЁННОЙ ТЕОРИИ {1,2}-АППРОКСИМАЦИИ

Бондаренко Н.С., канд. физ.-мат. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
bondarenko_n_s@mail.ru

Введение. В современной промышленности широко применяются композиционные материалы, обладающие трансверсальной изотропией упругих свойств. Для исследования прочности тонкостенных элементов из таких материалов в местах концентрации напряжений требуются подходы, более современные, чем классическая теория Кирхгофа-Лява. Классическая теория удовлетворительно описывает напряжённо-деформированное состояние (НДС) сравнительно тонких трансверсально-изотропных пластин, но не учитывает явления, обусловленные сдвигами и обжатием.

В настоящей работе для сведения трёхмерной задачи статики для трансверсально-изотропных пластин к двумерной используется обобщённая теория пластин в варианте {1,2}-аппроксимации. Данная теория является наиболее приемлемой, поскольку она не основана на каких-либо гипотезах, а использует метод И. Н. Векуа разложения искомых функций в ряды Фурье по полиномам Лежандра, что позволяет учесть поперечные касательные и нормальные напряжения. Об актуальности такого подхода свидетельствуют публикации последних лет [1, 2].

Цель работы – развитие обобщённой теории пластин, использующей метод И. Н. Векуа, исследование влияния упругих параметров трансверсально-изотропного материала на компоненты НДС пластины.

Основная часть. Рассмотрим трансверсально-изотропную пластину толщины $2h$ в прямоугольной декартовой системе координат x_1, x_2, x_3 , определённой с точностью до полутолщины пластины h . На пластину действует сосредоточенная сила \vec{F} , приложенная в начале координат.

В рамках {1,2}-аппроксимации представление компонент вектора перемещений и тензора напряжений имеет вид, представленный в [3].

Математическая формулировка задачи содержит полную систему уравнений теории упругости без учёта граничных условий на краях реальной пластины. Система уравнений равновесия для трансверсально-изотропных пластин в варианте {1,2}-аппроксимации, описывающая безмоментное напряжённое состояние состоит из [3]:

– соотношений упругости:

$$\begin{aligned}
N_1 &= B_0 \left(\frac{\partial u}{\partial x_1} + \nu \frac{\partial v}{\partial x_2} \right) + \lambda_0 R_0, & N_2 &= B_0 \left(\frac{\partial v}{\partial x_2} + \nu \frac{\partial u}{\partial x_1} \right) + \lambda_0 R_0, \\
S &= \frac{1-\nu}{2} B_0 \left(\frac{\partial v}{\partial x_1} + \frac{\partial u}{\partial x_2} \right), & Q_{11} &= \Lambda'_0 \frac{\partial w_1}{\partial x_1}, & Q_{21} &= \Lambda'_0 \frac{\partial w_1}{\partial x_2}, \\
R_0 &= \Omega'_0 \left[w_1 + \lambda_0 \left(\frac{\partial u}{\partial x_1} + \frac{\partial v}{\partial x_2} \right) \right], & & & & (1)
\end{aligned}$$

где u, v, w_1 – обобщённые перемещения пластины, из которых u и v являются аналогами перемещений точек срединной поверхности пластины; $N_1, N_2, S, Q_{11}, Q_{21}, R_0$ – обобщённые усилия;

$$B_0 = \frac{2}{1-\nu^2}, \quad \lambda_0 = \frac{\nu'}{1-\nu} E^*, \quad \Lambda'_0 = \frac{7}{5} \frac{1}{E/G'}, \quad \Omega'_0 = \frac{5}{3} \frac{(1-\nu)/E^*}{1-\nu-2(\nu')^2 E^*}, \quad E^* = \frac{E}{E'};$$

E, E' – модули Юнга для направлений в плоскостях изотропии и перпендикулярных к ней; ν, ν', G, G' – коэффициенты Пуассона и модули сдвига, соответствующие этим направлениям;

– уравнений равновесия

$$\frac{\partial N_1}{\partial x_1} + \frac{\partial S}{\partial x_2} + q_1 = 0, \quad \frac{\partial N_2}{\partial x_2} + \frac{\partial S}{\partial x_1} + q_2 = 0, \quad \frac{\partial Q_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial Q_{21}}{\partial x_2} - R_0 + q_3 = 0, \quad (2)$$

где $q_i = q_i^* \delta(x_1, x_2)$ ($i = \overline{1, 3}$), $\delta(x_1, x_2)$ – двумерная дельта-функция Дирака.

Обобщённые усилия в (1), (2) определены с точностью до значения Eh , а обобщённые перемещения – с точностью до h .

Решение задачи (1), (2) получено с помощью двумерного интегрального преобразования Фурье и методики обращения, основанной на использовании специальной G -функции [4]. Например, выражение для обобщённого усилия N_1 имеет вид:

$$\begin{aligned}
N_1 &= -\frac{1}{2\pi} \left[\frac{q_1^* B_0}{A} \Phi_1(x_1, x_2) + \frac{q_2^* B_0}{A} \Phi_2(x_1, x_2) + q_1^* a_0^2 \Phi_3(x_1, x_2) + \right. \\
&+ q_2^* a_0^2 \Phi_4(x_1, x_2) + q_3^* \lambda_0 a_0^2 \Phi_5(x_1, x_2) + 2q_1^* \Phi_6(x_2, x_1) - 2q_2^* \Phi_6(x_1, x_2) + \\
&+ \frac{q_1^* B_0 \nu}{A} \Phi_2(x_2, x_1) + \frac{q_2^* B_0 \nu}{A} \Phi_1(x_2, x_1) + q_1^* a_0^2 \nu \Phi_4(x_2, x_1) + q_2^* a_0^2 \nu \Phi_3(x_2, x_1) + \\
&\left. + q_3^* \lambda_0 a_0^2 \nu \Phi_5(x_2, x_1) \right] - \frac{\lambda_0^2 \Omega'_0}{2\pi A} \left[q_1^* \Phi_7(x_1, x_2) + q_2^* \Phi_7(x_2, x_1) - \frac{q_3^* B_0}{\lambda_0 \Lambda'_0} \Phi_8(x_1, x_2) \right],
\end{aligned}$$

где

$$A = B_0 + \lambda_0^2 \Omega'_0, \quad a_0^2 = \frac{B_0 \Omega'_0}{A \Lambda'_0},$$

$\Phi_i(x_1, x_2)$ ($i = \overline{1, 8}$) – выражения, содержащие специальную G -функцию. К примеру,

$$\Phi_1(x_1, x_2) = \frac{3x_1}{2(x_1^2 + x_2^2)} G_{0,1}(a_0 \sqrt{x_1^2 + x_2^2}) + \frac{x_1(x_1^2 - 3x_2^2)}{2(x_1^2 + x_2^2)^2} G_{1,2}(a_0 \sqrt{x_1^2 + x_2^2});$$

$$\Phi_2(x_1, x_2) = \frac{x_2}{2(x_1^2 + x_2^2)} G_{0,1}(a_0 \sqrt{x_1^2 + x_2^2}) + \frac{x_2(3x_1^2 - x_2^2)}{2(x_1^2 + x_2^2)^2} G_{1,2}(a_0 \sqrt{x_1^2 + x_2^2});$$

$$\Phi_3(x_1, x_2) = -\frac{3}{8} x_1 G_{1,0}(a_0 \sqrt{x_1^2 + x_2^2}) - \frac{x_1(x_1^2 - 3x_2^2)}{8(x_1^2 + x_2^2)} G_{2,1}(a_0 \sqrt{x_1^2 + x_2^2}).$$

Было исследовано НДС трансверсально-изотропных пластин при сосредоточенном силовом воздействии, для которого $q_1^* = q_2^* = q_3^* = 1$. Параметры трансверсально-изотропного материала пластины брались такими: $E^* = 5$; $\nu = 0,3$; $\nu' = 0,07$. Были построены графики изменения N_1 , N_2 , S , Q_{11} , Q_{21} , R_0 вдоль оси абсцисс. Исследовалось влияние параметра сдвиговой податливости E/G' на обобщённые усилия, значения E/G' принимались равными 2,6; 40; 80; 120.

Заключение. На основании проведённых исследований были сделаны такие выводы:

- параметр сдвиговой податливости практически не влияет на значение обобщённых усилий N_1 , N_2 , S ;

- увеличение E/G' приводит к увеличению усилий Q_{11} и R_0 и уменьшению Q_{21} .

Список литературы

1. Тучапський Р. І. Рівняння тонких анізотропних пружних оболонок обертяння методу $\{m,n\}$ -апроксимації / Р. І. Тучапський // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2015. – Т. 58, № 3. – С. 43–56.
2. Jaiani G. A model of layered prismatic shells / G. Jaiani // Continuum Mech. Thermodyn. – 2016. – 28, No. 3. – P. 765–784.
3. Пелех Б. Л. Слоистые анизотропные пластины и оболочки с концентраторами напряжений / Б. Л. Пелех, В. А. Лазько. – Киев : Наукова думка, 1982. – 296 с.
4. Хижняк В. К. Смешанные задачи теории пластин и оболочек : учебное пособие // В. К. Хижняк, В. П. Шевченко. – Донецк : ДонГУ, 1980. – 128 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОБЩЁННОЙ ТЕОРИИ ОБОЛОЧЕК В ЗАДАЧАХ ТЕРМОУПРУГОГО ИЗГИБА ПЛАСТИН С ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННЫМ РАЗРЕЗОМ

Бондаренко Н. С., канд. физ.-мат. наук, доцент,
Гольцев А. С., д-р физ.-мат. наук, профессор
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
bondarenko_n_s@mail.ru, a.goltsev@donnu.ru

Введение. Задачи термомеханики разрушения для тонкостенных элементов конструкций начали рассматриваться в шестидесятых годах прошлого столетия. Существенные результаты отечественных учёных в этом направлении были получены в монографии [1]. При этом была использована классическая теория пластин и оболочек, основанная на гипотезах Кирхгофа-Лява. В рамках этой теории перерезывающие силы в окрестности концов разреза обладают неинтегрируемой особенностью, вследствие чего получить коэффициент интенсивности продольного сдвига для температурных напряжений не представляется возможным. Встаёт вопрос об использовании уточнённых теорий, которые позволяют построить интегральные представления в виде интегралов типа Коши отдельно для крутящего момента и перерезывающей силы.

Целью представляемого исследования в связи с изложенным вопросом является выбор подходящей уточнённой теории для решения задач термомеханики разрушения изотропных пластин с теплоизолированным разрезом.

Основная часть. В качестве рабочей теории для решения поставленных задач была взята обобщённая теория оболочек [2]. Она основана на работах И. Н. Векуа [3], который предложил использовать в теории тонкостенных элементов конструкций разложения в ряд Фурье по полиномам Лежандра для перемещений и напряжений. Эта идея была успешно реализована различными учёными-механиками.

В монографии [2] изложена обобщённая теория оболочек, в которой ряды разложений для перемещений и напряжений содержат одинаковое количество членов. Это количество членов рядов определяет точность построенной модели. При этом сложность разрешающих уравнений напрямую зависит от количества удержанных членов рядов.

Другой подход, основанный на идее И. Н. Векуа, изложен в монографии [4]. В предложенной модели количество удерживаемых членов ряда для перемещений в срединной поверхности (m) и по толщине (n) разное. В соответствии с этими значениями строятся разрешающие уравнения и построенное приближение называется $\{m, n\}$ -

аппроксимацией. Достоинством этого подхода является возможность более точно аппроксимировать сдвиговые касательные напряжения по сравнению с предыдущей моделью. При этом сложность разрешающих уравнений можно поставить в зависимость лишь от точности представления поперечного перемещения (n).

В качестве примера рассмотрим разложения для температуры (T), перемещений (u_x, u_y, u_z) и напряжений ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$) в варианте $\{1,0\}$ -аппроксимации в задачах термоупругого изгиба изотропных пластин толщиной $2h$ с теплоизолированным разрезом L . Имеют место такие представления:

– температура

$$T = T_0 P_0 + T_1 P_1,$$

– компоненты вектора перемещений

$$u_x = u P_0 + \gamma_x h P_1, \quad u_y = v P_0 + \gamma_y h P_1, \quad u_z = w_0 P_0,$$

– компоненты тензора напряжений

$$\sigma_x = \frac{N_x}{2h} P_0 + \frac{3M_x}{2h^2} P_1 \quad (x \rightarrow y), \quad \tau_{xy} = \frac{S}{2h} P_0 + \frac{3H}{2h^2} P_1,$$

$$\tau_{xz} = \frac{Q_{x0}}{2h} (P_0 - P_2) \quad (x \rightarrow y), \quad \sigma_z = 0,$$

где T_0 – аналог средней температуры; T_1 – аналог температурного момента; $u, v, w_0, \gamma_x, \gamma_y$ – обобщённые перемещения; $N_x, N_y, S, M_x, M_y, H, Q_{x0}, Q_{y0}$ – обобщённые усилия и моменты; P_k ($k = \overline{0,2}$) – полиномы Лежандра. В рамках данной аппроксимации обобщённые перемещения, усилия и моменты являются такими аналогами компонентов термоупругого состояния теории типа Тимошенко: u, v – аналоги перемещений точек срединной плоскости пластины, w_0 – аналог прогиба пластины; γ_x, γ_y – аналоги углов поворота нормали; N_x, N_y, S – аналоги мембранных усилий; M_x, M_y – аналоги изгибающих моментов; H – аналог крутящего момента; Q_{x0}, Q_{y0} – аналоги перерезывающих сил.

В качестве исходных используются уравнения термоупругости изотропных пластин в варианте $\{1,0\}$ -аппроксимации [4, 5].

Граничные условия для компонент возмущённого термоупругого состояния на линии разреза L с нормалью n и касательной t имеют вид [6]:

– для задачи теплопроводности

$$\left. \frac{\partial T_0}{\partial n} \right|_L = - \left. \frac{\partial T_0^o}{\partial n} \right|_L, \quad \left. \frac{\partial T_1}{\partial n} \right|_L = - \left. \frac{\partial T_1^o}{\partial n} \right|_L,$$

– для задачи термоупругости

$$N_n|_L = -N_n^o|_L, \quad S_{nt}|_L = -S_{nt}^o|_L,$$

$$M_n|_L = -M_n^o|_L, \quad H_{nt}|_L = -H_{nt}^o|_L, \quad Q_n|_L = -Q_n^o|_L,$$

где N_n , S_{nt} , M_n , H_{nt} , Q_n – усилия и моменты на элементе длины разреза с нормалью n и касательной t ; компоненты с верхним индексом «о» соответствуют основному термоупругому состоянию, которое считается известным. Эти граничные условия сформулированы для случая свободных берегов разреза и отсутствия контакта между ними.

Методом двумерного интегрального преобразования Фурье получены интегральные представления компонент возмущённого термоупругого состояния и задача сведена к решению систем сингулярных интегральных уравнений типа Коши. После их решения определяются коэффициенты интенсивности термоупругих напряжений для поперечного (K_{II}) и продольного (K_{III}) сдвига.

Заключение. Итогом выбора обобщённой теории в варианте $\{m, n\}$ -аппроксимации явились новые результаты обширных численных исследований задачи термоупругого изгиба изотропных пластин с теплоизолированным разрезом [7–9].

Список литературы

1. Панасюк В. В. Распределение напряжений около трещин в пластинах и оболочках / В. В. Панасюк, М. П. Саврук, А. П. Дацьшин. – Киев: Наукова думка, 1976. – 444 с.
2. Хома И. Ю. Обобщённая теория анизотропных оболочек / И. Ю. Хома. – Киев : Наукова думка, 1986. – 172 с.
3. Векуа И. Н. Некоторые общие методы построения различных вариантов теории оболочек / И. Н. Векуа. – Москва : Наука, 1982. – 285 с.
4. Пелех Б. Л. Слоистые анизотропные пластины и оболочки с концентраторами напряжений / Б. Л. Пелех, В. А. Лазько. – Киев : Наукова думка, 1982. – 296 с.
5. Пелех Б. Л. Контактные задачи теории упругих анизотропных оболочек / Б. Л. Пелех, М. А. Сухорольский. – Киев : Наукова думка, 1980. – 216 с.
6. Кит Г. С. Плоские задачи термоупругости для тел с трещинами / Г. С. Кит, М. Г. Кривцун. – Киев : Наукова думка, 1984. – 280 с.
7. Бондаренко Н. С. Коэффициенты интенсивности напряжений при термоупругом изгибе изотропных пластин с теплоизолированным разрезом в случае симметричного теплообмена / Н. С. Бондаренко, А. С. Гольцев // Вісник Донецького ун-ту. Сер. А. – 2013. – № 2. – С. 20-26.
8. Бондаренко Н. С. Исследование влияния внешней среды на состояние термоупругого изгиба изотропных пластин с теплоизолированным разрезом / Н. С. Бондаренко, А. С. Гольцев // Труды ИПММ НАН Украины. – 2016. – Том 30. – С 20-28.
9. Бондаренко Н. С. Исследование влияния длины теплоизолированного разреза при термоупругом изгибе изотропных пластин / Н. С. Бондаренко, А.С. Гольцев // Вестник ДонНУ. Сер. А: Естественные науки. – 2018. – № 2. – С. 3-11.

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК ДВОЯКОЙ КРИВИЗНЫ НА ДЕЙСТВИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Нагорная Р.М., канд. физ.-мат. наук,
Цванг В.А., канд. физ.-мат. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
vatsvang@gmail.com

Создание и совершенствование оболочечных конструкций, работающих в динамических режимах, требует разработки новых методов расчета таких конструкций. Эффективными для решения начально-краевых задач теории оболочек являются методы, основанные на сведении таких задач к интегральным и интегро-дифференциальным уравнениям. Сердцевину этих методов составляет построение фундаментальных решений дифференциальных уравнений динамики оболочек. Ранее в работах отечественных и зарубежных авторов были рассмотрены лишь оболочки частного вида (цилиндрические и сферические), а используемые в них методы не позволяют распространить их на оболочки произвольной кривизны, кроме того, форма представления фундаментальных решений не дает возможности использовать их в начально-краевых задачах динамики оболочек. В работах В.П. Шевченко, Р.М. Нагорной, В.А. Цванга впервые разработан эффективный метод построения в замкнутой форме фундаментальных решений динамических уравнений теории тонких пологих изотропных оболочек произвольной неотрицательной гауссовой кривизны.

Сделаем допущения, связанные с рассмотрением начальной реакции оболочек на локальные динамические воздействия: напряженно-деформированное состояние оболочек является существенным лишь в некоторой малой зоне и быстро убывающим по мере удаления от нее; начальная реакция оболочек исследуется на временном интервале, достаточно малом, чтобы возмущения, вызванные этим воздействием, еще не достигли границ зоны пологости, а также при отсутствии отражений от границ оболочки. Методом интегральных преобразований Фурье и Лапласа получены выражения трансформант Фурье-Лапласа перемещений и внутренних силовых величин, возникающих в оболочке и образующих тензор Грина для разрешающей системы дифференциальных уравнений движения тонкой полой изотропной оболочки. Трансформанты решений $u_j^{(l)}(x, y, t)$ этой системы представлены в виде

$$\tilde{u}_j^{(l)}(\xi, \eta, p) = \frac{Q_j^{(l)}(\xi, \eta, p)}{P_j^{(l)}(\xi, \eta, p)\Delta}$$

где ξ, η, p – переменные в пространстве трансформант Фурье и Лапласа, $Q_j^{(l)}(\xi, \eta, p)$, $Q_j^{(l)}(\xi, \eta, p)$, и Δ – алгебраические полиномы трех переменных. Основное влияние на методику вычисления интегралов в формулах обращения Фурье и Лапласа оказывает функция $\Delta = (\xi^2 + \eta^2)^4 + (\xi^2 + \lambda\eta^2)^2 + p(\xi^2 + \eta^2)^2$, у которой первые два слагаемых соответствуют статическому случаю, а третье – представляет собой динамическую компоненту. Для обращения трансформант составляющих тензора Грина использована методика, основанная на введении специальной функции

$$G_{\nu, \mu}^{\gamma}(z) = 2^{4\nu+4\gamma+1} \int_0^{+\infty} x^{-\gamma-1} \frac{J_{\nu}\left(\frac{1}{8\sqrt{z}}x\right) J_{\mu}(\sqrt{x}) dx}{x^{\nu}}$$

для $z > 0$, $-Re(\nu+\mu/2) < -Re(\gamma+\nu) < 7/4$. Выведены некоторые основные свойства этой функции, указана ее связь с известными гипергеометрическими функциями и функцией Мейера, получены интегральные представления, асимптотические и квадратурные формулы для введенной функции. Приведена сводка оригиналов составляющих тензора Грина. Полученные выражения имеют вид двойных рядов по вновь введенным функциям $G_{\nu, \mu}^{\gamma}(z)$. Например, выражение для прогиба оболочки $u_3^{(3)}$ имеет вид

$$u_3^{(3)}(r, \varphi, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \varepsilon_n \cos(2n\varphi) \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k! 2^{3k-1/2}} W_{nk}^{(3)} \times t^{2k} \left(\frac{r^2}{4t}\right)^{k-1/2} G_{k+1/2, 2n}^{-1} \left(\left(\frac{r^2}{4t}\right)^2 / 4 \right),$$

где t – время, r, φ – полярные координаты на срединной поверхности оболочки,

$$W_{nk}^{(3)} = \int_0^{\pi/2} \left[\cos^2(\theta) + \lambda \sin^2(\theta) \right]^{2k} \cos(2n\theta) d\theta.$$

Для задачи о действии локальной динамической нагрузки $\bar{F}_{\mu}^{(3)}(0, 0, F_{\mu})$ степенного вида:

$$F_{\mu} = \begin{cases} -\frac{1+\mu}{\pi K r_0^2} \left[1 - \frac{x^2 + y^2}{r_0^2} \right]^{\mu} \delta(t), & x^2 + y^2 \leq r_0^2, \\ 0, & x^2 + y^2 > r_0^2, \end{cases}$$

распределенной по круговой площадке радиуса r_0 с центром в 0 начале координат, получены в замкнутой форме выражения компонент напряженно-деформированного состояния оболочки. Особенно простой

вид эти формулы принимают в центре площадки нагружения. Приведены графики зависимости нормального прогиба оболочки от времени, кривизны, размера площадки нагружения и степени распределения нагрузки, а также при удалении от центра площадки нагружения.

На основании аналитических и численных исследований сделаны следующие выводы: для задач о сосредоточенных в малой зоне воздействиях характерна локальность напряженно-деформированного состояния и не симметрия его относительно точки приложения нагрузки. Отмечена концентрация напряжений не только вокруг зоны приложения нагрузки, но и вблизи других точек, расположенных в некоторой ее окрестности. Значения нормального прогиба резко убывают по абсолютной величине с удалением от зоны приложения нагрузки. Вблизи зоны нагружения параметр отношения кривизн оболочки существенно влияет как на величину, так и на характер концентрирования напряжений для каждого момента времени. С удалением от зоны приложения нагрузки "эффект" кривизны сглаживается и его влияние становится несущественным; деформирование оболочек всех кривизн во времени носит колебательный, непериодический характер. При этом абсолютные значения всех компонент напряженно-деформированного состояния оболочки стремительно убывают со временем. В начальные моменты времени влияние параметра отношения кривизн оболочки несущественно, а значения компонент напряженно-деформированного состояния близки по величине к соответствующим для тонкой пластины. С течением времени "эффект" кривизны усиливается, а влияние параметра принимает сложный характер. Изменение компонент напряженно-деформированного состояния оболочки происходит быстрее всего для сферических, а наиболее медленно – для цилиндрических оболочек; асимптотические формулы первого приближения дают практически одинаковый в сравнении с численным результатом на интервале $0 < t < 0,07$ и могут быть использованы для инженерных расчетов, впоследствии они могут дать как существенно завышенные, так и заниженные результаты.

Информационные системы управления

УДК 65.011.5

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА СОВРЕМЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Андрюенко В.Н., д-р экон. наук, профессор
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
andr20076@yandex.ru

Введение. В основе системы менеджмента современного предприятия лежит процессно-ориентированный подход. Достижение целевых показателей деятельности предприятия, организованного на основе бизнес-процессов, доказало свою эффективность на уровне теоретических исследований и практического применения. Обладая неоспоримым достоинством по четкой идентификации входных и выходных показателей, бизнес-процессы требуют постоянного совершенствования, а в некоторых случаях и фундаментального переосмысления, радикального перепроектирования (реинжиниринга) [1].

Одной из предпосылок реинжиниринга бизнес-процессов предприятия являются инновации в области информационных технологий и систем. Это предъявляет повышенные требования к организации его системы менеджмента, что определяет актуальность настоящего исследования. Следует указать на особую роль персонала предприятия при совершенствовании и реинжиниринге его бизнес-процессов. Его инновационная активность должна подвергаться постоянному мониторингу. При этом мониторинг инновационной активности персонала, лежащий в основе инновационной активности предприятия, должен встраиваться в реализуемые бизнес-процессы, а его результаты - обеспечивать формирование команд по проведению реинжиниринга в обозримой перспективе. Вопросы менеджмента бизнес-процессов (совершенствования, реинжиниринга) с использованием инновационных достижений и встраивания методов мониторинга инновационной активности персонала требуют дальнейшего исследования.

Цель. Разработать архитектуру системы менеджмента бизнес-процессами предприятия, обеспечивающую обоснованное принятие решений по их изменению и определяющую инновационную активность операторов, осуществляющих их текущую эксплуатацию и совершенствование, а также определение претендентов для их перспективных преобразований.

Основная часть. По заявлениям экономистов-исследователей, к 2030 году до 45 % трудоспособного населения могут потерять работу, из-за внедрения роботизированных систем. Следовательно, конкуренция на рынке труда будет обостряться, и менеджерам предприятия необходимо будет решать задачи объективного выбора достойных операторов (исполнителей) бизнес-процессов.

Качество и эффективность усовершенствованных и перепроектированных за счет внедрения инноваций бизнес-процессов предприятия определяется методами подсистемы контроллинга предприятия. В подсистеме контроллинга предприятия определяется также инновационная активность предприятия, связанная с его предрасположенностью к инновационной деятельности. Подсистема контроллинга предприятия обеспечивает создание единого информационного пространства предприятия, в котором осуществляется однократный ввод информации в месте её возникновения лицом, ответственным за её достоверность.

Реализация бизнес-процессов предприятия, их инновационное изменение, а также их переосмысление и перепроектирование всецело зависит от исполнителей [2]. Следовательно, подсистема контроллинга предприятия должна оценивать фактические результаты деятельности каждого оператора: от функциональных обязанностей, профессиональной компетенции до социальной активности. Тем самым определяется кадровый потенциал предприятия, лучшие представители которого составят основу кадрового потенциала при осуществлении реинжиниринга бизнес-процессов. По сути дела формализуется процесс определения претендентов на участие в реинжиниринге бизнес-процессов, на дополнительное поощрение, пассивных исполнителей, претендентов на увольнение.

Необходимость проведения реинжиниринга определяет высшее управленческое звено предприятия на основе рекомендаций его информационно-аналитического центра. Информационно-аналитический центр содержит в своем составе специалистов в области информационных технологий, экономистов, юристов и других экспертов в области систем управления, в обязанности которых лежит наполнение базы данных инноваций, а также выработка рекомендаций высшему управленческому звену относительно необходимости и целесообразности проведения изменений бизнес-процессов на текущий момент. Выработка таких рекомендаций осуществляется на основании сведений, поступающих из системы контроллинга предприятия.

Разработана архитектура системы менеджмента предприятия, предрасположенного к совершенствованию и реинжинирингу бизнес-процессов и рассматриваемого, как инновационно-активное.

Сформулированы требования, которым должна удовлетворять система менеджмента предприятия. Реализация этих требований

обеспечивает обоснованный выбор бизнес-процессов для реинжиниринга в конкретный момент времени, формирование команды для его проведения и реализации в промышленной эксплуатации, финансовую и техническую поддержку на проектный период и период эксплуатации.

Осуществлена классификация этапов реализации реинжиниринга бизнес-процессов, а также методов их реализации [3].

Система менеджмента предприятия, функционирующая на их основе, позволяет: снизить риск отрицательной реализации проекта по реинжинирингу, оценить размеры финансовых затрат на проведение реинжиниринга бизнес-процессов и возможность их компенсации; проводить анализ последовательности выполнения всех этапов проекта по реинжинирингу бизнес-процессов и осуществлять оперативное планирование и корректировку плана мероприятий, направленных на сокращение временных затрат; исключить повторяющиеся и неэффективные функции, выполняющиеся в бизнес-процессах предприятия.

Реинжиниринг бизнес-процессов предприятия обеспечивает достижение высоких экономических показателей предприятия за счет внедрения современных инновационных достижений научно-технического прогресса и, в первую очередь, за счет информационных технологий и систем. Кроме того, реинжиниринг бизнес-процессов предприятия осуществляется с учетом экологических, социальных, научно-технических и других потребностей общества [4]. От качества проведения реинжиниринга зависит работа не только отдельных структурных подразделений, но и всего предприятия в целом.

Результаты приведенного исследования положены в основу разработки организационно-экономического механизма менеджмента предприятия, обеспечивающего успешное его функционирование в конкурентной экономической среде.

Список литературы

1. Репин В. В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов [Текст] / В. В. Репин, В. Елиферов. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 544 с.
2. Спивак В. А. Управление персоналом [Текст] : учеб. пособие / В. А. Спивак. – М. : Эксмо, 2010. – 226 с.
3. Баранов В. В. Реинжиниринг бизнес-процессов: этапы разработки и реализации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.elitarium.ru/2012/11/14/reinzhiniring_biznes_processov_jetapy_razrabotki_realizacii.html
4. Лускатова О. В. Современные проблемы реинжиниринга бизнес-процессов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2990/1/00585.pdf>

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ ИННОВАЦИОННО-АКТИВНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Балдынюк А.И.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
h.baldyniuk@donnu.ru

Введение. Организация документооборота на любом предприятии, в том числе и инновационно-активном (ИАП), является важной составляющей управления, влияющей на оперативность и качество функционирования ИАП. Так как в процессе деятельности ИАП создается множество видов управленческих документов, относящихся к области оперативного управления, планирования, кадрового, информационного, финансового, инновационного и другого обеспечения, то основной задачей делопроизводства выступает сбор, обработка, передача полученной информации и оптимизация названных процессов за счет использования инновационных технологий и построения эффективной системы управления персоналом [1; 2].

Однако на сегодняшний день остается ряд нерешенных вопросов, связанных с использованием инновационных технологий и системой управления персоналом ИАП, что обосновывает цель исследования.

Целью исследования является разработка рекомендаций по совершенствованию системы управления персоналом ИАП.

Основная часть. Под управлением персоналом ИАП понимаем деятельность функционирования его менеджеров, направленная на кадровое обеспечение путем разработки кадровой политики для достижения высоких показателей.

Персонал, как объект управления, выступает одним из наиболее сложных, при управлении которым возникает ряд проблем [2; 3]:

- недостаточный уровень организационного, документационного, нормативно-правового обеспечения деятельности кадровой службы;
- недостатки в системе подбора, отбора и расстановки персонала;
- отсутствие инструментов контроля в отношении кадровых решений, низкое качество профессиональной подготовки персонала;
- отсутствие организационного обеспечения кадровой политики, а также отдела по подготовке, переподготовке и повышению квалификации;
- неэффективная система мотивации персонала;
- низкий уровень информационного обеспечения.

Решить перечисленные проблемы можно за счет создания механизма управления ИАП, основанного на:

- требованиях к персоналу ИАП, с учетом специфики деятельности предприятия;

- ориентации на достижения конкурентных преимуществ за счет использования набора структурных и кадровых методов, которые оснащены современными подходами к документационному, нормативно-методическому, техническому, правовому обеспечению механизма управления персоналом;

- неразрывном взаимодействии человеческих ресурсов и инновационной компьютерной техники;

- совершенствовании системы отбора и подбора, подготовки и переподготовки кадров в соответствии с рекомендациями, методическими указаниями, положениями, разработанными с помощью компьютерных систем внутри ИАП, а так же отдела по подготовке, переподготовке и повышению квалификации;

- оперативном отображении инновационной активности персонала, задействованного в бизнес-процессах для их мотивации и стимулирования. При этом каждый должен понимать свою возможность участия в перспективном проекте, а также месте и роли в нем. Подсистема контроллинга обеспечивает оперативный ввод информации о выполнении функциональных операций исполнителей, их социальной активности и осуществляет рейтинговое оценивание деятельности персонала, с дальнейшим занесением в базу данных (БД).

Для эффективного взаимодействия составляющих механизма управления ИАП необходимо создание «Плана по реализации стратегии предприятия», который тесно взаимосвязан с системной моделью обучения персонал внутри предприятия.

В основе «Плана по реализации стратегии ИАП» лежит:

- отбор кандидатуры на вакантную должность, исходя из анализируемых источников и заданных критериев, который осуществляется с учетом количественно-качественных характеристик личности, соединяющих в себе профессиональные умения, знания и опыт с характерологическими особенностями личности;

- база центра занятости, также оценка кандидатов базы и база данных резервных сотрудников. За счет создания базы данных резервных сотрудников и возможности обращения к базе центра занятости появляется возможность осуществлять отбор персонала, как по внешним, так и по внутренним источникам. За счет чего происходит расширение круга поиска и увеличится количество кандидатов, подходящих на свободную вакансию;

- отдел по подготовке, переподготовке кадров и повышению квалификации, за счет создания которого появляется возможность обучения персонала внутри ИАП. Программа обучения формируется с учетом специфики деятельности предприятия, с учетом его целей, миссии, стратегии и ориентируется на развитие персонала; выбор формы обучения для определенной категории персонала осуществляться в связи со спецификой их деятельности и выдвигаемыми компетенциями;

- нормативные документы, которые создаются в результате реорганизации деятельности предприятия.

Системная модель основывается на видении предприятия, как единой целостной системы. На этом основании формируется программа обучения персонала, с акцентом на групповое обучение и процессы. В основе системной модели обучения внутри предприятия лежит концепция обучения внутри предприятия, объединяющая обучение с его стратегическими целями, мероприятиями по оценке и обучению сотрудников в целостную систему развития персонала, регламентирующую ответственность за прохождение обучения и внедрение на практике его результатов и обозначающая способы мотивации и стимулирования персонала.

Заключение. Рациональное использование персонала предприятия является неперенным условием, которое обеспечивает успешное выполнение планов ИАП. От эффективности системы управления персоналом зависит качество работы структурных подразделений ИАП, в том числе и служб делопроизводства.

Полученные результаты являются основанием для дальнейших исследований в области методов и механизмов управления персоналом.

Список литературы

1. Андриенко В. Н. Пути решения проблем стратегического управления предприятием / Новое в экономической кибернетике: Модели и методы стратегического управления // Сб. науч. ст. ДонНУ, 2001. – № 2. – С. 10–13.
2. Асмолова М. Л. Деловые комплименты: управление людьми при внедрении инноваций / М. Л. Асмолова. – М. : ИНФРА-М, 2012. – 155с.
3. Дригваль А. С. Формирование организационно-экономического механизма управления предприятием / А. С. Дригваль // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технічний прогрес і ефективність виробництва. – Х. : НТУ «ХП», 2013. – № 67. – С. 155-161.

УДК 004:658.872

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-КОММЕРЧЕСКОГО ПОРТАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛИ

Величанский В.А.,

Андриенко В.Н., д-р экон. наук, профессор

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

velichanskiy.v@yandex.ru

Введение. В современных условиях хозяйствования, которые характеризуются высоким уровнем нестабильности и динамичности внешней среды, перед каждым предприятием розничной торговли остро

стоит проблема завоевания конкурентной позиции и эффективного функционирования на рынке в определенном секторе экономики [1]. В этих условиях предприятию необходимо применять комплекс инструментов, которые обеспечат формирование долгосрочных конкурентных преимуществ, отвечающих вектору развития экономики Донецкой Народной Республики (ДНР). Одним из основных инструментов предприятия розничной торговли, который обеспечивает повышение эффективности его деятельности, является информационно-коммерческий портал (ИКП) в сети Интернет.

Важнейшей задачей ИКП предприятия розничной торговли, является создание эффективных коммуникаций между его посетителями и операторами-консультантами для достижения цели – повышения продаж. С развитием инструментальных средств интернет-маркетинга возникает возможность внедрения современных технологий онлайн-коммуникаций, которые совершенствуют основные бизнес-процессы ИКП, что отражается на формировании его бизнес-стратегии и повышении конкурентоспособности.

Цель работы – анализ инструментальных средств совершенствования коммуникаций информационно-коммерческого портала предприятия розничной торговли.

Предмет исследования – инструменты совершенствования коммуникаций между посетителя и операторами-консультантами ИКП.

Объект исследования – информационно-коммерческий портал предприятия розничной торговли ДНР.

Основная часть. Дистанционная торговля и электронная торговля, как один из ее видов, реализуют социальные функции. Существуют группы населения, для которых физическое посещение магазинов затруднено. Обслуживание таких групп населения является важной задачей электронной торговли [2]. Одним из важных предназначений дистанционной торговли является обслуживание жителей удаленных регионов, что также является ее важной социальной функцией [3].

Электронная торговля на территории республики представлена ИКП, которые функционируют в качестве самостоятельных предприятий розничной торговли или оказывают информационные функции в виде онлайн-каталогов товаров торговых сетей. Наиболее широко электронная коммерция распространена в малом бизнесе, в частности, в области розничной торговли [4]. Коммуникации в ИКП предприятий розничной торговли ДНР состоят из совокупности традиционных инструментов, к которым относятся: электронная почта, сообщения в сообществах социальных сетей, средства мобильной телефонной связи.

В современных условиях одна из основных тенденций в сфере информационных технологий – это переход аудитории от компьютеров и ноутбуков к смартфонам и планшетами, что формирует новые задачи к используемым инструментам коммуникаций на ИКП. Основными

задачами являются: обеспечение рационального просмотра web-страниц ИКП с браузеров мобильных устройств и компьютеров (адаптивность); применение технологий синхронизации приложений мобильных устройств с инструментами коммуникаций встроенных на web-страницах ИКП; возможность быстрого ответа на информационные запросы посетителей. Для эффективного функционирования ИКП предприятия необходимо взаимодействие его инструментов коммуникаций со средствами web-аналитики, что позволит актуализировать данные о поведенческих факторах пользователей и применять их в маркетинговой деятельности. Функционирование современного предприятия в условиях рынка предъявляет высокие требования к уровню квалификации, компетенциям и навыкам его работников, что оказывает воздействие на конкурентные преимущества [5].

Для решения поставленных задач на ИКП «ДонЛюкс», который функционирует на территории ДНР с 2015 года и занимается розничной торговлей (электроникой и бытовой техникой), предложено использовать альтернативные инструменты коммуникаций, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

Функции альтернативных инструментов коммуникаций информационно-коммерческого портала предприятия

Наименование инструмента	Функции и цели
Сервис всплывающих окон «JumpOut»	Предназначен для создания автоматических экранных форм ввода данных, которые выполняют задачи по информированию посетителей ИКП о проводимых маркетинговых кампаниях, а также сбору данных об их контактных данных и интересах. Всплывающие окна функционируют с целью удержания внимания посетителя в период длительного посещения ресурса или при условии попытки закрытия окна в браузере.
Онлайн-консультант «Jivosite»	Позволяет осуществлять онлайн-общение с посетителями ИКП в режиме чата. Присутствует функция активного приглашения в чат, что способствует установлению прямого контакта между посетителем и оператором-консультантом. Общение в режиме чата позволяет посетителю получить ответы на вопросы в максимально короткий период времени, что отражается на возможности покупки интересующих товаров без телефонных звонков или заполнений форм заказов.
Мессенджер «Viber»	Позволяет создавать групповые чаты с посетителями ИКП на основе данных, которые собирают сервис всплывающих окон и онлайн-консультант. Групповые чаты позволяют осуществлять персонализированное информирование о проводимых маркетинговых кампаниях, а также отвечать на возможные вопросы по условиям работы ИКП предприятия.

Применение альтернативных инструментов коммуникаций обеспечивает повышение качества взаимодействия ИКП с пользователями,

у которых появляется возможность оперативного получения ответов на задаваемые вопросы. Рост интереса пользователей к ИКП учитывают инструменты web-аналитики, что положительно сказывается на продвижении в поисковых системах.

Заключение. Коммуникации обеспечивают создание нематериальных активов, таких как уровень доверия к бренду и базы данных клиентов. Совершенствование коммуникаций ИКП предприятия розничной торговли на основе применения альтернативных инструментальных средств дополняет традиционные инструменты, а также расширяет перечень выполняемых задач. Качественное информационное обеспечение маркетинговой кампании формирует основу успешного продвижения в поисковых системах.

Список литературы

1. Лиходедова Т. В. Концептно-ориентированный подход к разработке стратегии формирования интеллектуальной собственности предприятий розничной торговли / Т. В. Лиходедова // Вестник Института экономических исследований. – 2019. – № 1 (13). – С. 44-51.
2. Иванов Г. Г. Социальные аспекты предпринимательства в торговле / Г. Г. Иванов, С. Л. Орлов // Вестник экономики, права и социологии. – 2013. – № 1. – С. 56-61.
3. Сумина Е. С. Проблемы развития дальнего востока и их преодоление / Е. С. Сумина, В. Н. Упирова // Проблемы социально-экономического развития регионов. – 2015. – № 2. – С. 108-110.
4. Евстратова Ю. А. Роль нематериальных ресурсов в электронной торговле / Ю. А. Евстратова, А. Ф. Никишин, С. С. Шипилова // Инновационная наука. – 2015. – № 7. – С. 104-107.
5. Андриенко В. Н. Концептуальные основы управления инновационно-активным предприятием / В. Н. Андриенко, А. И. Балдынюк // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. – 2017. – №1. – С. 16-22.

УДК 004:651.012.12

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-ДОКУМЕНТАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Гайдарь Е.В., канд. экон. наук,
Овчаренко А.С.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
elena-gaydar@mail.ru

Введение. Весь процесс управления предприятием пронизан информацией, которая является основой для принятия управленческих решений. Данный процесс построен на оперативной работе с документами,

в которых фиксируется информация [1, с. 80]. Таким образом, информационное обеспечение государственного предприятия «Почта Донбасса» рассматривается как важнейшая обслуживающая функция управления.

Цель статьи – выявление особенностей организации информационно-документационного обеспечения государственного предприятия «Почта Донбасса».

Основная часть. Структурным подразделением, которое организует информационное и документационное обеспечение государственного предприятия «Почта Донбасса» является Общий отдел. Данный отдел осуществляет контроль за правильным оформлением документов, а также их своевременным прохождением и исполнением. При этом обеспечивает отбор, учет и сохранность документов, образующихся в государственном предприятии «Почта Донбасса».

Следует отметить, что общий отдел также разрабатывает методические руководства такие, как Положение об общем отделе, Номенклатура дел за 2019 год, Положение о согласовании документов, Должностные инструкции сотрудников общего отдела, Положение о закреплении всех ответственных сотрудников структурных подразделений за организацию и ведение делопроизводства, Классификатор индексов структурных подразделений государственного предприятия «Почта Донбасса», Положение об экспертной комиссии государственного предприятия «Почта Донбасса» [2, с. 6].

В результате проведенного анализа информационного и документационного обеспечения государственного предприятия «Почта Донбасса» с помощью фотографии рабочего дня (табл. 1) было выявлено отсутствие в информационном пространстве предприятия системы электронного документооборота.

Данный метод представляет собой разновидность непосредственного наблюдения, но из-за своей специфики в научной литературе достаточно часто выделяется как самостоятельный метод. Целью фотографии рабочего дня является выявление выполняемых сотрудниками видов работ, определение их содержания и затрат рабочего времени.

Суть данного метода, состоит в определении затрат рабочего времени сотрудника за определенный период, в результате которого получается точный срез: чем именно и в течение какого времени занимался сотрудник [3, с. 21].

В ходе проведения фотографии рабочего дня было выделено 3 основных вида работы специалиста Общего отдела:

- документирование (прием документов, распределение документов, проверка документа на соответствие, регистрация документа, внесение информации в журналы регистрации, контроль исполнения документов, формирование дел, подготовка дел к архивному хранению и т.д.);

- телефонные переговоры (прием звонков от сотрудников и от внешних предприятий, организаций, учреждений, консультация обособленных подразделений государственного предприятия «Почта Донбасса» по вопросам документирования и т.д.; осуществление исходящих звонков);

- перемещения по предприятию (визирование, подписание документов, передача документов исполнителям, согласно резолюциям и т.д.).

Таблица 1

Затраты рабочего времени специалиста Общего отдела государственного предприятия «Почта Донбасса» (фрагмент)

Наименование работы	Продолжительность (ч.)	Доля затрат рабочего времени (%)
Документирование	4 ч. 45 мин.	55,8 %
Телефонные переговоры	45 мин.	8,9 %
Перемещения по предприятию	2 ч. 30 мин.	29,4 %
Перерыв	30 мин.	5,9 %
Итого:	8 ч. 30 мин.	100 %

Таким образом, анализируя данные в таблице видно, что наибольшее время уделяется документированию, так как документирование является основной деятельностью специалиста Общего отдела.

Следует отметить, что второе место по продолжительности времени заняло перемещение по предприятию сотрудника Общего отдела в связи с отсутствием на предприятии системы электронного документооборота, которая позволила бы автоматизировать процесс доведения информации до исполнителей, а также подписание ими документов с помощью электронно-цифровой подписи.

Таким образом, фотография рабочего дня позволила определить на каких этапах рабочего процесса у специалиста Общего отдела государственного предприятия «Почта Донбасса» происходят потери рабочего времени.

Заключение. На наш взгляд в государственное предприятие «Почта Донбасса» необходимо внедрить систему электронного документооборота с целью автоматизации процесса ознакомления исполнителей с документами, согласно резолюции генерального директора, а также автоматизировать процесс визирования и подписания документов в информационном пространстве с помощью электронно-цифровой подписи.

Следует отметить то, что автоматизируя данную деятельность, появится возможность эффективного поиска актуальных документов, так как вся документация будет храниться в электронном виде, поиск которой будет осуществляться с помощью тематических фильтров. Система электронного документооборота должна являться единой базой

документарной информации, которая непосредственно позволит исключить возможность дублирования документов.

Список литературы

1. Крупский А. Ю. Информационный менеджмент : учеб. пособие / А. Ю. Крупский, Л. А. Феоктистова. – М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К». – 2008. – 80 с.
2. Положение об общем отделе государственного предприятия «Почта Донбасса» [Текст] : Положение об общем отделе. – Донецк, 2016. – 6 с.
3. Кузнецова Т. В. Методы предпроектного обследования при рационализации делопроизводства / Т. В. Кузнецова, И. А. Подольская // Делопроизводство. – 2004. – № 3. – 21 с.

УДК 004

К ВОПРОСУ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ивина О.А., канд. техн. наук,
Стенина Н.А., канд. техн. наук

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия
k8enya@gmail.com

Практика использования современных информационных технологий является одним из главных инструментов повышения эффективности управления производственными процессами. Развитие глобализации требует решения проблем обеспечения быстрого обмена информации и качественного управления информационными технологиями. Инновационные средства сбора, обработки и передачи данных непосредственно влияют на организацию и ведение хозяйственной деятельности промышленных предприятий. Появление интегрированных информационных систем, нового программного обеспечения, систем с искусственным интеллектом, систем поддержки принятия решений позволило значительно упростить процессы обработки информации. Современные информационные системы требуют применения новых подходов к анализу информационных потоков, документооборота, процессов принятия решений, поэтому необходимо не только ускорение информационных процессов, но и приведение системы управления и методов ее работы в соответствие требованиям предприятий различных отраслей.

Термином «Информационные технологии» обозначают процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления данных процессов

и методов. Для реализации информационных технологий необходимо уметь грамотно использовать средства и ресурсы вычислительной техники, обеспечивающих работу всей системы в целом. Сегодня трудно найти производство без современного IT-оборудования и соответствующих программных продуктов. Как правило область информационных технологий представлена совокупностью программных методов и программируемых технических средств, обусловленных производственной необходимостью. Вся технологическая цепочка должна обеспечивать сбор, обработку, хранение и отображение информации, что обеспечивает снижение трудоемкости производственных процессов [2].

Информационные технологии, которые повсеместно внедряются на современных предприятиях представлены многозадачными роботами, автоматически управляемыми линиями, однозадачным оборудованием, компьютерами с прикладным программным обеспечением. Проводятся работы по разработке новых и совершенствованию имеющихся технологий. Изучение рынка информационных технологий показало, что роботы, линии, технологическое оборудование при производстве пищевой продукции в основном зарубежного производства, а программное обеспечение, как правило, российское. В результате внедрения в производство информационных технологий гарантировано качество продукции, ее товарный вид, что влияет на показатели экономического эффекта [1].

Автоматизация работы всей технологической цепочки также позволяет эффективно управлять финансовой деятельностью предприятия. Себестоимость продукции является одним из основных показателей рентабельности. С помощью специальных программ можно осуществлять контроль за формированием статьи затрат на производство, а также влиять на формирование добавленной стоимости для любых производственных этапов. Существуют определенные требования для каждого из секторов промышленности, учитывающие специфику производства.

Использование компьютерных сетей для интеграции разноплановых информационных систем на основе интеграции разного назначения используется для создания корпоративных систем. К примеру, компания «Балтика» активно использует корпоративную информационную систему, так как масштаб компании представлен крупными производственными площадками, обеспечивающими выполнение более тысячи заказов каждый день. Все этапы движения продукции от производителя до конечного потребителя отслеживаются в режиме реального времени. Реализована необходимость синхронизации данных во времени с учетом часовых поясов, с учетом географии сотрудничества. Поэтому многоуровневая система управления соответствует требованиям для решения задач оперативного управления, планирования и бизнес-анализа предприятий [4].

ERP (англ. Enterprise Resource Planning автоматизированные системы, планирование ресурсов предприятия) в компании «Юнилевер

Россия» используются для автоматизации деятельности этой компании – отслеживания не просто графика поставки заказанных партий, но наличия каждой товарной позиции на текущий момент на полках торговых залов. По данным Центра выбора технологий и поставщиков TAdviser, безусловным лидером по числу внедрений на рынке ERP-систем в российской пищевой промышленности является компания «1С». Второе место занимают решения компании Microsoft Business Solutions и третье место делят компании SAP и «Интеллект-Сервис» [5].

Конечно, необходимы инвестиции по технической поддержке и корректировке эксплуатации автоматизированных информационных систем, но учитывая влияние комплексных информационных систем на конкурентоспособность предприятий, их применение целесообразно.

Использование современных информационных систем предоставляет потенциал для динамичного развития производства за счет возможностей: планирования и анализа для рационального использования ресурсов предприятия; координации и повышения эффективности работы различных подразделений; снижения трудоемкости производственных процессов; улучшить качество и товарный вид продукции; повышения эффективности и конкурентоспособности предприятия в целом.

Список литературы

1. Туровец О. Г. Обеспечение качества организации производственных процессов в условиях управления цифровым производством / О. Г. Туровец, В. Н. Родионова, И. В. Каблашова // Организатор производства. – 2018. – Т. 26. – №. 4. – С. 65.
2. Тарасов И. В. Индустрия 4.0: Трансформация производственных фабрик / И. В. Тарасов, Н. А. Попов // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – №. 3 (108).
3. Кутин А. А. Цифровая трансформация отечественного машиностроения на основе интеграции информационных и производственных технологий / А. А. Кутин, Н. Н. Кутина // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство. – 2019. – С. 184-186.
4. Трифонов Ю. В. Интеграция систем планирования с системами управления рисками на крупных предприятиях / Ю. В. Трифонов, С. М. Брыкалов, В. Ю. Трифонов // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2019. – Т. 10. – №. 2.
5. Отчет: ERP в пищевой промышленности России: 17 систем, 96 интеграторов и 231 проект [Электронный ресурс] – URL: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Отчет:_ERP_в_пищевой_промышленности_России:_17_систем,_96_интеграторов_и_231_проект.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО БИЗНЕСА

Коробейникова К.В., канд. экон. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

k.korobeinikova@donnu.ru

Введение. Актуальность исследования проблем цифровой экономики, электронной торговли определяется тем, что доля отраслей, которые опираются на цифровые технологии, постоянно растет. Происходят процессы проникновения цифровых технологий в другие сферы общества, которые в корне изменяют их технологический уклад. Некоторые направления деятельности уже полностью преобразованы под воздействием цифровых технологий. Следует ожидать, что вскоре электронная торговля будет доминировать, а подходы к самой организации торговли сильно изменятся. Изучение социально-экономических последствий таких изменений представляет серьезный научный интерес.

Цель статьи состоит в раскрытии сущности проявлений процесса цифровизации в сфере электронного бизнеса.

Широкое применение и развитие высоких инновационных технологий, перестройка социальных структур, трансформация геополитической ситуации – все это стало предпосылкой появления нового уровня развития человечества – информационного общества, которое и создало предпосылки возникновения электронного бизнеса как нового средства эффективной организации экономического сектора.

Основная часть. Под цифровой трансформацией бизнеса понимают возникновение целых направлений, которые полностью имеются в цифровом виде или в значительной мере опираются на цифровые технологии. В настоящее время можно констатировать, что торговля услугами, правами на интеллектуальную собственность уже полностью переместилась в цифровую сферу [1].

Благодаря цифровым технологиям возможности начать свой бизнес в торговой сфере появились у широкого круга лиц, в частности индивидуальных предпринимателей. К тому же цифровизация создала основу для качественного нового анализа рынка, ведь огромное количество данных о нем, которые генерируются всевозможными устройствами (big data), делают возможным принципиально более глубокий и содержательный анализ международной торговли.

Самым существенным фактором, который влияет на развитие цифровой экономики, является расширение круга людей, которые имеют доступ к цифровой экономике.

В связи со стремительным развитием явлений, которые принято характеризовать как «цифровая экономика», было введено понятие электронной коммерции, под которой понимаются распространение, продажа и доставка услуг и товаров в электронной форме или с помощью электронных инструментов.

В рамках электронной коммерции Интернет используется (или покупателем, или продавцом, или обоими сразу) для поиска коммерческой информации, осуществления покупок, продажи, доставки (организации доставки) товаров или услуг через государственные границы. Практически вся международная торговля в той или иной степени опирается на использование Интернета. В электронную форму уже полностью перешли коммуникации, деловая переписка (в некоторых странах). Организовать современную международную торговлю без помощи интернет-технологий практически невозможно.

Таким образом, международные торговые отношения можно разделить на несколько условных «блоков»: 1) торговые соглашения, которые полностью перешли в электронную сферу (поставки услуг); 2) поставки товаров, которые в принципе могут осуществляться без участия человека (автоматизация логистики); 3) поставки товаров, которые используют возможности электронной сферы для организационных потребностей.

Выделяют такие компоненты электронной торговли (Digital trade), как платформы, цифровые услуги. Именно возникновение электронных платформ определило то место электронной коммерции, которое она занимает в настоящий момент. К таким платформам следует отнести Alibaba, Etsy, интегрированные с ними сервисы и подобные проекты. Общей чертой всех этих проектов является доступ к ним покупателей в домашних условиях. Это качество является принципиально важным. Если раньше участие в международной торговле исключало розничные продажи и только большие игроки могли проводить операции, то теперь «стоимость» вхождения на этот рынок определяется только ценой самой покупки. Другими словами, теперь схема организации торговли выглядит таким образом: «универсальная торговая площадка – конечный покупатель». То есть количество посредников между производителем и покупателями резко сократилось. Это свойство электронной торговли (и электронных площадок) в корне изменяет особенности взаимодействия в электронной сфере. Теперь доступ на международный рынок имеют отдельные граждане (как покупатели), а также малые и средние предприятия (в роли продавцов) [2].

Одним из наиболее наглядных проявлений цифровизации мировой торговли стало привлечение в нее частных лиц, которые имеют возможность осуществлять покупки на всевозможных платформах, рассчитываясь с помощью электронных платежных систем, получая товар

по почте. Таким образом, доля населения страны, которая использует электронные деньги, свидетельствует о том, насколько население вовлечено в этот процесс. Собственно, в этом заключается один из эффектов электронного бизнеса: участниками рынка могут непосредственно стать физические лица. Во многих сегментах международной торговли растет доля товаров, которые реализуются непосредственно конечным покупателям.

В технологическом аспекте во время формирования цифровой экономики можно выделить такие четыре тренда: развитие и практическое применение мобильных технологий, бизнес-аналитика, использование облачных вычислений, социальные медиа, включая социальные сети, которые становятся основными (а для некоторых людей – единственными) каналами коммуникации. Как следствие, уже в настоящий момент на рекламу именно с помощью использования возможностей социальных сетей приходится все большая доля рекламного рынка в целом. Социальные сети стали важнейшей базой для аналитических исследований в торговой сфере.

Заключение. При условиях правильного использования информационно-коммуникационные технологии становятся мощным средством развития электронного бизнеса. Стратегическими подходами к повышению эффективности электронного бизнеса должно быть инфраструктурное развитие и институциональная поддержка внедрения цифровых технологий. При этом, безусловно, реализация каждого из этих стратегических подходов в том или другом регионе должна учитывать их специфику и особенности развития. В зависимости от этого могут варьироваться как технологические решения, которые могут применяться для развития информационно-коммуникационной инфраструктуры, так и мероприятия по стимулированию внедрения конкретных цифровых технологий.

Список литературы

1. Окинавская Хартия глобального информационного общества, 2000 г. // Дипломатический вестник. – 2010. – № 8. – С. 1-40.
2. Большаков А. В. Генезис и структура деловых сетей в контексте теории постиндустриальной экономики / А. В. Большаков // Экономический анализ: теория и практика, 2012. – № 10 (265).
3. Борисенко В. В. Наука и рыночные отношения в информационном обществе. Социально-философский анализ / В. В. Борисенко. – М. : Наука, 2017. – 863 с.
4. Грабельников А. А. Массовая информация в России: от первой газеты до информационного общества / А. А. Грабельников. – М. : РУДН, 2016. – 330 с.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СФЕРА КАК ФАКТОР ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

Крулькевич М.И., д-р техн. наук, профессор
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
krulkevich@inbox.ru

Введение. Сегодня вопросы перестройки экономики и общества не вызывают сомнений, а опыт ведущих стран и компаний мира тому подтверждение. Главными составляющими развития цифровой экономики как этапа формирования современной модели экономико-социальной и технологической системы общества на основе результатов четвертой промышленной революции являются современная инфраструктура, безопасность сетей, подготовка профессионалов и формирование партнерств для создания технологических платформ.

Цель статьи состоит в том, чтобы раскрыть значение информационной сферы как фактора инновационного развития.

Основная часть. Особенностью становления информационной сферы как фактора инновационного развития общества является ее интеллектуализация.

Важным критерием перехода общества к информационной стадии развития может быть процент населения, занятого в сфере услуг [1]:

- если в обществе больше 50 % населения занято в сфере услуг, то наступила постиндустриальная фаза его развития;
- если в обществе больше 50 % населения занято в сфере информационно-интеллектуальных услуг, общество становится информационным.

В соответствии с этим, информационная сфера как фактор инновационного развития общества призвана обеспечить комплексное и органичное развитие человека, создание для него необходимых условий духовного развития, наращивание национального человеческого капитала как основы развития нового типа социальной организации. Для большинства стран мира, которые включились в процесс развития информационной сферы, характерны стандартизированные условия развития, поскольку по большей части данный процесс имеет глобальное направление.

Развитие информационной сферы на современном этапе должно сопровождаться как модернизацией социально-экономических структур, так и созданием новых. Одной из таких структур должна быть структура, обеспечивающая реализацию электронных услуг, в том числе, образовательных. Необходимо также отметить, что информационная сфера как фактор инновационного развития общества находится в зависимости от уровня развития информационных технологий, в частности от появления цифровых способов обработки информации и бурного развития электроники.

Это, в свою очередь, требует нового институционального обоснования принципов развития информационной сферы и ее влияния на развитие общества.

В настоящее время для развития информационной сферы необходимо:

- усовершенствовать нормативную базу по обеспечению развития информационной сферы и ускорить ее адаптацию к российским и международным нормам и стандартам;

- обеспечить надлежащую координацию действий всех заинтересованных субъектов;

- усовершенствовать институциональный механизм формирования, координации и осуществления контроля за выполнением задач перестройки информационной сферы;

- повысить уровень информационной представленности в интернет-пространстве;

- обеспечить принятие системных государственных решений, направленных на стимулирование создания национальных инновационных структур (центров, научных парков и технопарков) для разработки конкурентоспособных отечественных информационно-коммуникационных технологий;

- повысить на государственном уровне значимость собственного сегмента Интернета как одного из важнейших инструментов развития информационной сферы общества.

Информационная сфера находится в состоянии активного становления, гармоничного приобщения к глобальному мировому информационному пространству и является основой развития информационного общества.

Основу современного развития информационной сферы составляет комплекс взаимоинтегрированных веб-сервисов, аналитических информационных систем, аппаратная часть которых является платформой для внедрения последующей автоматизации в разных отраслях жизнедеятельности.

Воздавая должное роли и значению информационно-коммуникационных технологий, следует констатировать, что они не единственная наукоемкая отрасль.

Наиболее существенными чертами, которые характеризуют цифровое общество, являются [2]:

- информация и знание – главная преобразующая сила общества;

- информационные ресурсы – это стратегические ресурсы общества;

- глобальная информатизация, информационно-коммуникационные технологии – основа экономики знаний;

- непрерывное образование и способность к переквалификации – условие повышения социального статуса человека в обществе;

- зависимость от умения находить и адекватно использовать новую информацию;

– быстрый ритм жизни и темпы изменения технологий.

Развитие информационной сферы как фактора инновационного развития выдвигает качественно новые требования к системе образования.

Эти требования вылились в необходимость изменения парадигмы образования. Если суть старой парадигмы можно выразить как «Образование на всю жизнь», то суть новой парадигмы образования – «Образование на протяжении всей жизни». Целью образования становится не подготовка человека к будущей профессиональной деятельности за счет накопленных за время учебы большого объема готовых, систематизированных знаний, а развитие личности, овладение ею способами и навыками получения существующих и продуцирование новых знаний.

Факторы, которые обуславливают содержание новой парадигмы образования:

– переход от запоминания и накопления значительных объемов информации к овладению способами непрерывного получения новых знаний и самообразование;

– переход к формированию самостоятельного, а не репродуктивного типа мышления, умению работать с разной информацией и разными данными;

– формировать не только профессиональные знания, умения и навыки, но и профессиональную компетентность.

Ожидается, что реализация данных положений даст возможность повысить национальную конкурентоспособность в результате развития человеческого потенциала, в первую очередь в высокоинтеллектуальных сферах; улучшить качество жизни, обеспечив экономический рост, предоставив качественный доступ к услугам в сферах информации, образования, науки, здравоохранения, управления и широкого использования информационно-коммуникационных технологий.

Заключение. Сегодня в Донецкой Народной Республике есть все предпосылки для формирования информационной сферы как фактора инновационного развития общества, создания разнообразных информационно-коммуникационных технологий и электронных информационно-аналитических систем разного уровня и назначения. Информация стала основным сегментом ценностей в понимании человека, осознания важности информации, правильное ее применение – это важный шаг в развитии всего общества.

Список литературы

1. Амлинский Л. З. Научные библиотеки информационного общества. Организация и технология / Л. З. Амлинский. – М. : Профессия, 2016. – С. 20.
2. Землянова Л. М. Зарубежная коммуникативистика в преддверии информационного общества. Толковый словарь терминов и концепций: моногр. / Л. М. Землянова. – М. : Московского университета, 2015. – 301 с.

ЕДИНОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО КАК СФЕРА РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАТИВНОЙ ФУНКЦИИ

Курдюмова И.А., канд. филол. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
kurdiumova@mail.ru

Введение. Бурное развитие информационно коммуникационных технологий (далее – ИКТ) кардинально изменило лицо мира, привело к новым, неслыханным возможностям развития человеческой цивилизации. Сегодня информационное пространство Донецкой Народной Республики находится в состоянии активного становления, гармоничного интегрирования в глобальное мировое информационное пространство.

Цель статьи – выявить характерные признаки и проблемы формирования единого информационного пространства как сферы реализации информационно-коммуникативной функции государства.

Основная часть. В конце XX ст. под воздействием научно-технического прогресса произошли существенные изменения геополитической, социальной и экономической системы общества, его информационного пространства. Наиболее очевидной является трактовка понятия информационного пространства как синтетической категории, под которой понимаются все социально-экономические процессы, в основе которых находится использование цифровых технологий. К таким процессам следует отнести новые возможности навигации (в частности, автономный транспорт, управляемый автопилотом), автоматизацию производства (сооружение промышленных предприятий с минимальным использованием ручного человеческого труда), новые принципы организации рынка труда (большое количество самозанятых).

Реализация информационно-коммуникативной функции – это новый этап развития государства, направленный на обеспечение уровня общественного благосостояния, уменьшение количества угроз национальной безопасности, приобщение граждан ко всем благам информационного общества.

Важная роль в контексте реализации информационно-коммуникативной функции принадлежит исследованиям Д. Белла, которым было четко определено, что основу становления постиндустриального общества составляют теоретические знания, которые и являются определяющим принципом его функционирования, источником инновации и формирования политики. Именно в этот период возникает новая форма деятельности специалистов, которые применяют

новейшие достижения науки и техники в разных сферах общественной жизни, начиная с экономики и заканчивая духовной сферой. Особенная ценность подхода Д. Белла к выяснению сущности информационно-коммуникативной функции общества заключается именно в попытке четко установить его принципиальное отличие от постиндустриального общества, определить их тождественные и противоположные стороны. Вот почему, характерным признаком функционирования современного общества является признание информации как основного инструмента общественного развития, способствующего возникновению новой социальной структуры, которая регламентируется информационными факторами [1].

Реализация информационно-коммуникативной функции в современных условиях приводит к кардинальному изменению социальной структуры общества, основу которой составляют «не отношения форм собственности, а интеллектуальная квалификация, вовлеченность в интеллектуальную технологию». А. Тоффлер называет прослойку населения, связанную с реализацией информационно-коммуникативной функции, когнитариатом, и предсказывает ему роль структурного детерминатора в будущем [2].

Другие исследователи связывают новое общество с развитием коммуникационных сетей и интерпретируют его в этом контексте. Появляются концепции общества сетевого интеллекта (Д. Тапскотт), подчеркивается сетевое направление будущих социальных структур (М. Кастельс) и другие. Общество в этих концепциях рассматривается как устойчивая сеть, паутина (похожая на Интернет с технологической стороны) информационных связей и взаимодействий. При этом образовавшаяся структура приобретает все уровни социальной организации. М. Кастельс отмечает, что отныне «глобальные сети инструментального обмена селективно подключают или отключают индивидов, группы, районы и даже страны в соответствии с их значимостью для выполнения целей, которые обрабатываются в сети, в непрерывном потоке стратегических решений» [3]. В результате этого становление общества такого типа приобретает глобальное направление, касаясь всех без исключения стран и социумов. Но их положение и статус будет зависеть уже от них самих, от их политики и потенциала, а также степени включенности в эти процессы.

Информационная сфера постепенно становится фундаментальным базисом всех видов экономической деятельности – от финансово-кредитных операций до промышленного и сельскохозяйственного производства, потому что она выполняет важнейшую функцию – информационное обеспечение хозяйственной деятельности и руководство ею. Следовательно, решающим фактором, который обеспечивает реальное бытие и жизнедеятельность современного развитого общества, является

информация. Понятно, что современное материальное производство приобретает развитие в принципиально новых условиях, среди которых, во-первых, нарастающее сокращение природных ресурсов, и особенно тех, которые не возобновляются; во-вторых, экологическая надвигающаяся катастрофа; в-третьих, демографический дисбаланс; в-четвертых – растущая неравномерность в экономическом, индустриальном, информационном развитии разных стран мира, и наконец, в-пятых, ускоренное развитие высоких научных технологий и информационных процессов происходит лишь в нескольких развитых странах мира.

Заключение. Реализация информационно-коммуникативной функции, основу которой составляют инновационно-информационные технологии, в условиях единого информационного пространства является новой фазой развития передовых стран. Все больше людей вовлекается в разнообразные информационно-ориентированные типы работ. Научные и технические работники собирают и производят информацию, менеджеры и специалисты прорабатывают ее, работники коммуникационной сферы распространяют ее. Этот процесс информатизации не оставляет ни одной сферы социальной активности: от повседневной жизни до международных отношений, и от сфер досуга до производственных отношений.

Список литературы

1. Белл Д. Социальные рамки информационного общества / Д. Белл // Новая технократическая волна на Западе. – М. : Прогресс, 1986. – С. 330-342.
2. Toffler A. Future Shock. Bantam Books, 1991 – 210 p.
3. Castells M. The Information Age: Economy, Society and Culture. Vol. I. The Rise of the Network Society. Blackwell Publishers. Maiden, Oxford, 1996. – 400 p.

УДК 004:378

УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Мащенко Н. Е., канд. экон. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
maschenko_n@mail.ru

Введение. В условиях цифровой экономики и по мере развития цифрового пространства образование становится одной из ключевых составляющих ее развития. Ведь именно в недрах образовательных организаций происходит становление высококвалифицированной рабочей силы, способной эффективно трудиться в новых условиях, которые, в свою очередь, требуют постоянного расширения компетенций персонала.

Современный работник нуждается в непрерывном образовании: повышении квалификации, дополнительном образовании, стажировках и др. Получение и расширение компетенций отводится сфере образования, которая должна успевать за новейшими мировыми тенденциями, и таким образом требует кардинальной перестройки самой системы в условиях цифровизации.

Цель работы – исследовать тенденции эффективного управления информационными ресурсами образовательной организации посредством построения информационного образовательного пространства.

Основная часть. Основой управления в образовании являются информационные и коммуникационные технологии, которые, в свою очередь требуют управления при помощи определенных технологий, что дает основания говорить о менеджменте информационных образовательных ресурсов [1; 2].

Сам процесс управления в образовательном учреждении в развитых странах трудно представить без автоматизации и информатизации управленческих процессов. Информационные технологии внедряются и в финансовое, документационное управление вузом, и в архивное пространство посредством систем электронного документооборота и финансового менеджмента, но прежде всего качественное высшее образование требует полного информационного обеспечения научного и учебного процессов.

Перед высшими учебными заведениями, в том числе нашего государства, стоит задача развития единого информационного образовательного пространства, включающего электронные образовательные и научные ресурсы. Все это достигается при помощи современных информационных технологий, которые способны изменить сам подход к образованию, сделав образовательный процесс более результативным, направленным на формирование большего объема знаний, приобретение новых, усовершенствованных компетенций.

При этом информационно-образовательные ресурсы могут быть доступны не только через глобальную сеть Интернет, но и через локальные сети образовательной организации. В настоящее время многие учебные заведения занимаются разработкой собственных электронных ресурсов различного назначения и применяют их в учебном процессе.

Одним из направлений повышения эффективного управления информационными ресурсами в образовательной организации является формирование образовательного пространства кафедр, структурных подразделений путем создания единой электронной образовательной информационной системы. Эффективному использованию информации образовательных учреждений способствуют социальные медиа, информация в открытом доступе (в том числе ретроспективная) в виде медиатек, репозиториев, порталов, что отражает новые масштабные тенденции цифрового общества.

Необходимые преобразования в вузе необходимо начинать с медиатек структурных подразделений, которые в качестве информационных центров создаются на базе имеющейся локальной сети в компьютерных классах и должны обеспечивать для студентов в целях эффективной самостоятельной работы:

- хранение и обновление учебных (учебно-методический комплекс дисциплины (далее – УМК), курсы лекций, учебники, учебные пособия, методические рекомендации и др.), справочно-информационных и научных материалов (сборники статей студентов и преподавателей, курсовые и дипломные работы студентов), периодической литературы в электронной форме с рубрикацией по предметам;

- возможность хранения и оперативного просмотра разного рода аудио- и видеоматериалов, презентаций, в том числе аудио- и видеолекций по дисциплинам;

- поиск необходимой информации.

В последние годы в рамках образовательных организаций получили распространение в качестве хранилища образовательных информационных ресурсов репозитории научных и учебных материалов на сайтах вузов, что способствует повышению рейтинга образовательной организации в мировой среде. На сайте кафедры в таком случае есть возможность давать гиперссылки на полный текст оригинала в репозитории.

Репозитории в виде электронных или оцифрованных документов (учебных материалов, научных статей, работ, авторефератов) создаются на базе библиотеки вуза и представляют собой хранилище данных библиотеки с выходом в локальную сеть и сеть Интернет.

При построении информационного пространства образовательной организации следует учитывать вопросы информационной грамотности и культуры сотрудников и студентов – пользователей информационной среды вуза.

Поэтому в связи со стремительным развитием информационной среды становится актуальным вопрос приобретения новых умений и навыков, расширения компетенций среди самого преподавательского персонала.

Недаром Агентством стратегических инициатив в Сколково был разработан Атлас новых профессий, в разделе Образование которого предполагается появление новых профессий в будущем в данной сфере, таких как координатор образовательной онлайн-платформы, ментор стартапов, модератор, тьютор, организатор проектного обучения, разработчик образовательных траекторий, игропедагог и др.

Основными компетенциями этих профессий должны стать следующие: системное мышление, клиентоориентированность, межотраслевая коммуникация, работа с людьми, мультиязычность, но, прежде всего, «цифровые» навыки, такие как информационная культура, а также знание систем искусственного интеллекта, роботехники и др.

Заключение. Таким образом, эффективному управлению информационными ресурсами образовательных организаций с целью расширения знаний в условиях цифровой экономики будет способствовать дальнейшее развитие систем искусственного интеллекта, создание новых хранилищ учебной и научной информации в глобальных и локальных сетях вузов, преобразование профессий в сфере образования путем приобретения и расширения информационных компетенций.

Список литературы

1. Цветков В. Я. Методологические основы применения ИКТ при управлении высшим учебным заведением / В. Я. Цветков // Информатизация образования и науки. – 2010. – №1 (5). – С. 25-30.
2. Ozhereleva T. A. The Use of Information Technology for Education Quality Management // European Journal of Economic Studies. – 2013. – Vol. (6), No 4. – P. 221-226.

УДК 339.101

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ ТАМОЖЕННЫХ ОРГАНОВ

Мелюс И.Е.,

Андрюенко В.Н., д-р экон. наук, профессор

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

borovets-i@mail.ru

Введение. Таможенные органы рассматриваются как часть правоохранительных структур, которые обеспечивают защиту экономической безопасности и суверенитета республики, контролируют условия и порядок перемещения товаров и транспорта через ее границу, взимают и оформляют соответствующие платежи. Функциональную деятельность реализуют сотрудники – все работающие в таможенных органах руководители и исполнители, образующие кадровый потенциал.

Цель – осуществить анализ особенностей использования и разработать рекомендации применения современных информационных технологий в процессах управления кадровым потенциалом таможенных органов.

Основная часть. Актуальность темы исследования обусловлена высоким уровнем требований, предъявляемых к деятельности таможенных органов со стороны участников внешней экономической деятельности (ВЭД), республики и общества в целом, необходимостью осуществления качественных преобразований, направленных на повышение целесообразности и устойчивости таможенной системы, в механизмах реализации таможенной политики – таможенных технологиях, и,

соответственно, потребностью установления целей и направлений развития технологий таможенной деятельности, способствующих решению социально-экономических проблем республики наилучшим образом.

Теория управления таможенными технологиями в настоящее время находится в постоянном развитии. Требуют постоянного совершенствования теоретические аспекты таможенного оформления и таможенного контроля.

Большой вклад в исследование отдельных аспектов таможенных технологий внесли отечественные и зарубежные ученые, такие как И. Ансофф, П. Друкер, М. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури, А. Томпсон, А. Стрикленд, Р. Тиетар, Н. Михеева, В. Плотников, О. Виханский, П. Забелина, Н. Моисеева.

Настоящее исследование базируется на теории стратегического управления, где ключевым моментом является целенаправленность управленческих усилий в условиях нестабильной внешней среды, для решения проблем управления кадровым потенциалом таможенных органов.

Повышение эффективности деятельности таможенных органов не представляется возможным без оптимизации численности их работников.

Одна из главных особенностей применения информационных технологий в практике решения задачи эффективного управления кадровым потенциалом системы таможенной службы состоит в упорядочении и формализации решений, подлежащих дальнейшей автоматизации.

К настоящему времени освещены в научной литературе и применяются на практике различные концепции управления кадровым потенциалом организации: управление человеческими ресурсами, управление государственными служащими, управление человеческим капиталом, управление кадрами.

Практическое решение задач управления кадровым потенциалом таможенных органов является основой для реализации кадровой политики таможенной службы, в качестве составных элементов которой понимаются: политика занятости, политика обучения, политика трудовых отношений, политика оплаты труда, политика благосостояния.

Актуальной задачей автоматизации процесса управления кадровым потенциалом таможенной службы является создание платформы для получения информации об отклонениях в развитии кадровых процессов, требующих тактического или стратегического управленческого воздействия. В качестве таких комплексных индикаторов отклонений могут быть предложены, например, текучесть кадров, застой в движении кадров, старение кадров, снижение их образовательного уровня, снижение дисциплины и правопорядка, уровень динамики пополнения кадрового резерва [1].

В рамках системы управления кадровым потенциалом таможенных органов в качестве инструмента ее реализации может быть использованы

информационные системы. Например, R3 SAP является комплексной платформой для планирования ресурсов предприятия, функциональные возможности которой позволяют полностью автоматизировать процессы учета и управления в компаниях с использованием наиболее эффективных бизнес-инструментов. Система модульная и масштабируемая, что открывает широкие возможности для ее настройки под конкретные задачи.

Существует и успешно функционирует корпорация «Галактика», которая является ведущей отечественной компанией в области разработки и поставки интегрированных систем управления предприятием в течение последних 20 лет, входит, по мнению консалтинговой международной компании «ЮС», в Top-5 зарубежных и российских компаний, разрабатывающих интегрированные системы для управления предприятием [2]. Разработки «Галактики» обеспечивают предприятиям и корпорациям современные и технологичные методы управления, поддержку и помощь в сопровождении автоматизированных систем управления.

Модуль «Управление кадрами государственной гражданской службы», разработанный корпорацией «Парус» наилучшим образом подходит для таможенных органов, так как данная система предназначена для комплексной автоматизации деятельности кадровых служб государственных органов, как центрального аппарата, так и территориальных органов, органов государственной власти субъектов государства, как аппарата, так и территориальных подразделений.

К основным преимуществам внедрения модуля «Управление кадрами государственной гражданской службы» относятся следующие его особенности [3]:

- данный модуль является специализированным (разработан специально для кадровых подразделений);
- строгое соответствие с республиканским законодательством о государственной службе;
- обеспеченность различными программно-техническими решениями для разных уровней управления в зависимости от задач, стоящих перед кадровыми подразделениями;
- возможность настройки под особенности любого органа государственной власти;
- обеспечение необходимым уровнем безопасности информации;
- возможность интеграции с действующими и разрабатываемыми программными продуктами.

На данном этапе планируется усовершенствовать подсистемы планирования и финансирования, учета конфискованного имущества, учета вещевого имущества (форменной одежды) на базе этого программного обеспечения.

Заключение. Внедрение современных информационных технологий в процессы управления кадровым потенциалом таможенной системы позволит

не только повысить качество её функциональной деятельности, но добиться повышения эффективности управления кадровым потенциалом.

Список литературы

1. Мамедов Д. Б. Совершенствование процесса управления персоналом в таможенных органах: актуальные проблемы / Д. Б. Мамедов // Авиация и космонавтика. – 2015. – Т 2. – С. 709-710.
2. Официальный сайт компании «Парус» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.parus.ru/products/gov/personnel/361/>.
3. Барамзин С. В. Управление качеством таможенной деятельности / С. В. Барамин. – Москва : Книга и бизнес, 2013. – 304 с.

УДК 004.9:330.47

ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ИТ-СТРАТЕГИИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ

Митрохина Е.А., канд. экон. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
o.mytrokhina@donnu.ru

Введение. На сегодняшний день разработка и реализация ИТ-стратегии становится залогом формирования эффективной организации. Поскольку организации, вкладывающие средства в информационные технологии и системы, в результате получают не только новую технологию и систему, а и улучшают свой бизнес, создают способы более эффективного распространения информации и принятия управленческих решений, повышают квалификацию своего персонала и прочее. Все это обосновывает необходимость рассмотрения подходов к разработке ИТ-стратегии и формированию рекомендаций по выбору наиболее подходящего для организации.

Цель работы – рассмотреть существующие подходы к разработке ИТ-стратегии и сформировать рекомендации по подбору наиболее подходящего подхода для определенной организации.

Основная часть. ИТ-стратегия находится на пересечении трех областей – информационных технологий, стратегий и бизнес-процессов. Выделение области «бизнес-процессы» для определения ИТ-стратегии является целесообразным, поскольку такие стратегии для большинства организаций являются вспомогательными, поддерживающими отдельные бизнес-процессы.

В литературе существует большое количество определений понятия «ИТ-стратегия». Учитывая факторы, ее формирующие, можно дать следующее определение: это документ, целью которого является

формирование долгосрочного плана использования информационных технологий для бизнеса и определение необходимых для этого ресурсов. Такая стратегия в полной мере отвечает целям и потребностям основного бизнеса организации и способствует реализации ее конкурентных преимуществ на рынке.

Систематизируя публикации ученых и специалистов в области информационного менеджмента [1, 2, 3] можно сформировать следующий перечень подходов к разработке ИТ-стратегий:

1. Отсутствие ИТ-стратегии.
2. Применение последних достижений в области ИТ без соответствующего планирования.
3. Стратегия для ИТ-организаций.
4. Планирование элементов ИТ.
5. Стратегическое планирование бизнеса организации.
6. Стратегическое планирование ИТ.

Первые четыре подхода достаточно сложно назвать методами разработки ИТ-стратегий, поскольку все они не предполагают ее создание. Однако каждый из них в той или иной степени формирует отношение к работе с информационными технологиями и системами в организации.

Первый подход используется малыми предприятиями, когда нецелесообразно затрачивать существенные средства на разработку и выполнение ИТ-стратегии. В случае если предприятие крупное, то отсутствие такой стратегии для него может стать проблемой. Следует отметить, что большинство отечественных предприятий придерживаются именно этого подхода: они не разрабатывают ИТ-стратегию и, как следствие, сталкиваются с рядом проблем, среди которых необоснованность инвестиций в информационные технологии, неудовлетворенность текущим информационным обеспечением со стороны пользователей, сотрудников и руководства, неэффективность деятельности в целом.

Второй подход предполагает применение новых компьютерных разработок в деятельность организации, однако его суть состоит в том, что полностью отсутствует планирование их закупок. То есть организация, узнав о новом техническом или программном средстве, желает его приобрести, не задумываясь о целесообразности потраченных средств. Применение подхода может привести к неоднозначным последствиям, необходимо помнить, что затраты на его реализацию весьма высокие.

Третий подход применяется для ИТ-компаний. В рамках данного подхода ИТ-стратегия совпадает со стратегией деятельности организации, так как в таких компаниях информационные технологии не обеспечивают основной бизнес, а непосредственно участвуют в нем.

Четвертый подход предусматривает планирование отдельных элементов ИТ. Так, например, в организации может проводиться

планирование технических и программных средств, IT-сервисов, вычислительных мощностей для информационных систем, аудита IT-процессов и прочее. Однако такие методики не предназначены для разработки IT-стратегии, они лишь охватывают отдельный ее сегмент.

Оставшиеся подходы предполагают разработку IT-стратегии. Так в рамках пятого подхода для ее разработки чаще всего используются следующие методики к формированию стратегий бизнеса [3]: принцип «5P» Г. Минцберга; IT-стратегия как вторичная стратегия, формируемая на основе имеющейся стратегии организации, ее миссии, целей и задач; методика «ключевые факторы успеха» – предполагает, что информатизировать необходимо бизнес-процессы, которые оказывают влияние на критические факторы успеха (КФУ) организации. Таким образом, КФУ определяют стратегию, цели и задачи IT.

Особого внимания заслуживает подход «стратегическое планирование IT», так как он позволяет сформировать наиболее эффективную IT-стратегию. Данный подход развивает предыдущий, дополняя его «сглаживанием» стратегии бизнеса и IT-стратегии, то есть, подстраивая стратегию организации к возможностям IT. При таком подходе информационные технологии гарантируют текущую и будущую деятельность организации, ориентируясь на имеющиеся конкурентные преимущества и обеспечивая новые.

Среди перечисленных подходов наиболее эффективным является именно последний подход, несмотря на то, что он предполагает самые высокие затраты на разработку IT-стратегии.

Выбор конкретного подхода к разработке IT-стратегии является индивидуальным для каждой организации, он зависит от размера организации, имеющихся ресурсов, текущего состояния IT, имеющейся стратегии организации, требований бизнеса к IT и прочего. Однако, на наш взгляд, наиболее подходящим является сочетание последних двух подходов: разработка IT-стратегии на основе подстройки IT под потребности бизнеса с дальнейшей доработкой стратегии организации с учетом возможностей IT.

Если же предприятие не имеет IT-стратегии, то необходимо начать с планирования отдельных элементов IT, а после перейти к разработке IT-стратегии на основе стратегии бизнеса (в случае, если она имеется) или ключевых факторах успеха (если стратегия отсутствует), а затем ориентироваться на «сглаживание» IT-стратегии и стратегии бизнеса.

Заключение. Правильно разработанная и продуманная IT-стратегия позволяет превратить информационные технологии в эффективное средство и продуктивного помощника, она уменьшает затраты и повышает результативность, создает условия для экономического роста в конкурентной среде. Все это обуславливает необходимость выбора подходящего подхода ее разработки.

Рассмотренные в работе подходы позволили выявить наиболее эффективные из них, а также сформулировать рекомендации по разработке ИТ-стратегии в конкретной организации.

Список литературы

1. Зеленков Ю. А. О стратегическом планировании развития информационных технологий в корпорации / Ю. А. Зеленков // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2012. – № 46 (305). – С. 73-87.
2. Матвеев И. А. ИТ-стратегии в менеджменте организации: концепции и проблемы развития / И. А. Матвеев // Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент. – 2005. – № 4. – С. 81-99.
3. Михайлов А. 7 подходов к разработке ИТ-стратегии / А. Михайлов // Директор информационной службы. 2004. – № 02. – Режим доступа: <https://www.osp.ru/cio/2004/02/173173/>

УДК 004.94

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И СБОРА ИНФОРМАЦИИ

Поволоцкий Я.А.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург, РФ
yara_nik@mail.ru

Введение. Развитие информационных технологий повлияло на большое количество различных отраслей. Одним из наиболее показательных примеров является промышленность. Автоматизация процесса производства позволила увеличить качество и скорость изготовления изделий. Станки с ЧПУ, которые умеют точно выполнять поставленные перед ними задачи, тому подтверждение. Однако любое производство является сложным и комплексным процессом и непредвиденные ситуации могут возникать во время работы такого сложного механизма. Именно для контроля процесса работы производства используют SCADA-системы. Актуальность изучения вопросов, связанных с работой SCADA обусловлена тем, что SCADA-системы являются частью киберфизических систем, которые в свою очередь являются частью четвертой промышленной революции, которая подразумевает создание «умного» производства.

Целью работы является освещение вопросов о назначении SCADA-систем, анализ их состава и особенностей применения.

Основная часть. Общие сведения о SCADA-системах. SCADA (Supervisory control and data acquisition – диспетчерское управление и сбор

данных) – это программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления [1].

Название SCADA применяется не только для инструмента создания системы автоматического контроля и сбора информации, но и для созданной системы. Как и любая система автоматизации, SCADA предназначена для упрощения работы человека и повышения эффективности [2, 3]. Используя SCADA-систему, оператор может получать информацию в удобной для него форме о состоянии объектов в режиме реального времени. Понятие «объект» в такой системе достаточно обширное, т.к. им может быть процесс производства и определённый узел, являющийся частью процесса производства. SCADA-системы могут получать информацию от объектов удалённо. Данная способность существенно облегчает работу и увеличивает безопасность предприятия.

Возможность сбора информации позволяет проводить анализ работы для её дальнейшей оптимизации. С этой работой может справиться человек, но существуют процессы, где его наличие физически невозможно или процессы, где количество данных невозможно зафиксировать.

Компоненты SCADA-систем. SCADA-система состоит из двух частей. Физическая часть представлена в виде различной вычислительной и электронной техники. Их разновидности и количество зависят от назначения системы. Базовый набор SCADA-системы состоит из датчиков, программируемых логических контроллеров (ПЛК), панели оператора и сервера. Программная часть необходима для управления и настройки физической части. Алгоритмы, которые загружаются в ПЛК в виде управляющих программ, позволяют ПЛК обрабатывать данные, получаемые с датчиков, и принимать решения. Полученные значения автоматически заносятся в базы данных, которые расположены на сервере. Таким образом, реализуется сбор. Кроме автоматического управления системой при помощи ПЛК, возможно управление оператора. Вся информация выводится на панель оператора в режиме реального времени благодаря человеко-машинному интерфейсу. Возможность изменения конфигурации SCADA-системы позволяет реализовывать решения проблем различной сложности.

Применения SCADA-системы. Для более ясного понимания функционирования SCADA-систем следует рассмотреть пример. Имеется автоматическое производство заготовок методом литья. Производство имеет несколько цехов, которые работают параллельно. SCADA-система является частью этого производства. Датчик температуры расположен в месте, где происходит нагрев материала, из которого будет изготовлена продукция. Датчик фиксирует температуру материала и отправляет значение в ПЛК. ПЛК получает значение и, если оно советуется

необходимому для литья, он принимает решение о начале процесса литья. Все значения температуры и времени передаются на сервер. В случае брака можно будет выяснить причину, зная эти значения. Информация о температуре, как и решение ПЛК выводится на панель оператора. Важным плюсом является тот факт, что оператор получает информацию со всех цехов и литейных установок. Оператор может вносить изменения в работу системы. Например, он может поменять температуру, необходимую для литья. SCADA-система может выполнять более сложные задачи. Например, можно добавить в имеющуюся систему блок управления нагревом. В этом случае появится возможность гибко изменять температурные режимы и проводить анализ их изменения на свойства изготавливаемой продукции. Важно уделить должное внимание на этапе проектированию SCADA-системы.

Заключение. Таким образом, SCADA-системы позволяют улучшить производство, «интеллектуализировать» его. Стремительное развитие SCADA-систем, их высокая роль в построении «умной» экономики обуславливают необходимость их дальнейшего исследования.

Список литературы

1. Технологии доступа к данным в современных SCADA-системах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/tehnologii-dostupa-k-dannym-v-sovremennyh-scada-sistemah> (дата обращения: 18.09.2019).
2. Know all about SCADA Systems Architecture and Types with Applications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.edgefxkits.com/blog/scada-system-architecture-typesapplications> (дата обращения: 16.04.2019).
3. Конюх В. Л. Компьютерная автоматизация в промышленности / В. Л. Конюх. – М. : Издательство «Бестселлер», 2006. – 237 с.

УДК 004:659.3

ВЛИЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ВОЙН НА ПРОДОВОЛЬСТВЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОСУДАРСТВА

Пономаренко Н. Ш., канд. экон. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
n.ponomarenko@mail.ru

Введение. Глобализация информационных технологий и безграничное информационное пространство создают предпосылки для бесконтрольного и беспрепятственного переноса через границы государств огромных массивов данных, способствуют возникновению монополий и транснациональных корпораций, которые, концентрируя материальные

ресурсы и власть, диктуют свои условия, оказывают влияние на различные сферы деятельности и управления государством.

Наблюдается активное распространение информационных операций в современном мире, вектор которых направлен не только на военные, но и на мирные цели, что резко расширяет сферу их применения, в том числе и на продовольственную безопасность государств. Это означает, что продовольственная безопасность государства используется в качестве метода ведения современных войн, инструмента экономического давления и политического сдерживания.

Актуальность и важность проблем обеспечения продовольственной безопасности обусловлены, прежде всего, тем, что национальная продовольственная база является показателем устойчивого экономического развития и стабильности внутреннего рынка продовольствия государства, возможностью противостоять внутренним и внешним угрозам.

С развитием информационных технологий стало возможным создание информационного оружия, которое становится важной частью военного потенциала государства. Информационные войны приобрели разносторонние аспекты, основными из которых можно назвать: экономическое и финансовое управление и воздействие, управление средствами массовой информацией, терроризм.

Осознавая влияние и угрозы информационных войн, каждому государству необходимо остро ставить вопрос о продовольственной безопасности и разработке мер, способствующих их реализации.

Учет всех этих факторов – сложная, но необходимая задача исследования данной проблемы.

Цель. Провести анализ влияния информационных войн на продовольственную безопасность и выявить наиболее важные направления обеспечения продовольственной безопасности государства.

Основная часть. Информационная война – это целенаправленные действия, направленные для достижения информационного превосходства путем нанесения ущерба информации, информационным процессам противника при одновременной защите собственной информации, информационных процессов и информационных систем [1].

Любой конфликт между государствами сопровождается информационной составляющей. В процессе информационного взаимодействия политические противоречия, оказавшись неразрешимыми, переходят в острую стадию информационной войны.

Информационные войны направлены на достижение следующих целей:

1. Обеспечение национальных интересов путем комплексного влияния на информационное пространство конкурента и его переформатирование.

2. Защита собственного информационного пространства от аналогичных действий потенциального конкурента.

3. Экономическая или геополитическая экспансия.

4. Уничтожение, дезинтеграция или ослабление конкурента своего главного идеологического и геополитического конкурента.

Элементами информационной войны являются: информация, средства сбора, хранения, обработки и ее защиты, информационные технологии и системы.

Современное информационное пространство представляет собой сложную систему взаимодействия объектов, вступающих в информационное общение посредством технологий и технических каналов коммуникации [2].

Отражение информационных атак, обработка больших объемов информации и использование результатов анализа требуют повышенного внимания к обеспечению продовольственной безопасности.

Обострение военно-политической обстановки, последовавшие за ним санкции против России и ответное продовольственное эмбарго, торговая блокада Донецкой Народной Республики поставили перед государствами важные задачи наращивания и укрепления национальной продовольственной базы.

В ответ на введенные санкции Правительство РФ в августе 2014 года, разработало законопроект «О применении отдельных специальных экономических мер в целях обеспечения безопасности РФ», согласно которому, был запрещен ввоз определённой категории товаров и продуктов питания из стран, применивших санкции по отношению к Российскому государству. К этим странам относятся: Соединенные Штаты Америки, страны Европейского союза (28 государств), Канада, Австралия и Норвегия. Черногория, Албания, Исландия, Лихтенштейн и Украина позже были дополнительно включены в список стран, в отношении которых вводится запрет на ввоз в Россию сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. Кроме того, данное решение было направлено на распространение ответных экономических мер на отдельные государства с учетом степени их вовлеченности в режим санкций против Российской Федерации [3].

Введение санкций против различных отраслей российской экономики определило и положительные аспекты данной ситуации:

- развитие сельского хозяйства страны в целом;
- улучшение качества продукции и ускорение ее производства;
- государственная поддержка фермерских хозяйств;
- расширение экспорта технологий из стран Африки, Южной Америки, Востока;
- увеличение доли отечественных производителей.

Заключение. Таким образом, исследование влияния информационных войн на продовольственную безопасность показало важность изучения данных проблем с учетом современного состояния национальной безопасности государств.

В целях повышения уровня продовольственной безопасности Российской Федерации и обеспечения защиты от информационных воздействий, предлагается использовать имеющиеся стратегические ресурсы и реализацию новых возможностей на основе механизма взаимодействия организаций и платформ, аналитических систем, информационных систем и органов государственной власти, прикладных интернет-сервисов, организаций и граждан с учетом уровней реализации политики в области продовольственной безопасности.

Список литературы

1. Панарин И. Н. Первая мировая информационная война. Развал СССР / И. Н. Панарин. – СПб. : Питер, 2010. – 256 с.
2. Аюрова А. М. Информационная война как феномен информационного общества / А. М. Аюрова // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке: сб. ст. по матер. II междунар. науч.-практ. конф. № 2(2). – Новосибирск : СибАК, 2017. – С. 67-76.
3. Меркулова Е. Ю. Импортзамещение в сфере обеспечения населения основными продуктами питания: первые итоги / Е. Ю. Меркулова, Н. Н. Нестерова, Н. С. Морозова // Стратегические инициативы социально – экономического развития хозяйствующих субъектов региона в условиях внешних ограничений: материалы международной научно-практической конференции, организованной совместно с администрацией ОЭЗ «ППТ» Липецк. – 2017. – С. 231-235.

Математический анализ и дифференциальные уравнения

УДК 517.984.5

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ РАСШИРЕНИЯ ОПЕРАТОРА БЕССЕЛЯ НА ПОЛУОСИ

Ананьева А.Ю.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
ananeva89@gmail.com

Рассмотрим однопараметрическое семейство дифференциальных выражений Бесселя

$$\tau_{\vartheta} = -\frac{d^2}{dx^2} + \frac{\vartheta^2 - \frac{1}{4}}{x^2}, \vartheta \in [0,1) \setminus \left\{ \frac{1}{2} \right\}. \quad (1)$$

Спектральному анализу граничных задач для выражения (1) посвящено много работ (см. [1, с. 535; 2–7]). Особо отметим работы [3, 6], в которых найдена явная форма m -коэффициента Вейля–Титчмарша выражения τ_{ϑ} в $L^2(\mathbb{R}^+)$.

В работах [2, 3, 6] описаны области определения фридрихсова расширения минимального оператора $A(\vartheta; \infty)$, ассоциированного с выражением (1) в $L^2(\mathbb{R}_+)$, а в [3] – все самосопряжённые расширения оператора $A(\vartheta; \infty)$. Кроме того, в работе [2] описаны области определения соответствующих квадратичных форм. Однако в этом описании используется область определения максимального оператора $A(\vartheta; \infty)$, явное выражение для которой не было известно.

Для получения основных результатов будут использованы граничные тройки и соответствующая им функция Вейля (см. [8–10]), а также метод квадратичных форм.

Пусть $A(\vartheta; \infty) := A(\vartheta; \infty)_{\min}$ и $A(\vartheta; \infty)_{\max}$ – соответственно минимальный и максимальный операторы Бесселя, порождённые выражением (1) в $L^2(\mathbb{R}^+)$.

Теорема. Пусть $\vartheta \in [0,1)$. Справедливы следующие утверждения.

i. оператор $A(\vartheta; \infty)$ имеет равные индексы дефекта

$$n_{\pm}(A(\vartheta; \infty)) = 1;$$

ii. $A(\vartheta; \infty)_{\max} = A(\vartheta; \infty)^*$ и

$$\text{dom}(A(\vartheta; \infty)^*) = H_0^2(\mathbb{R}_+) + \text{span} \left\{ x^{1/2+\vartheta} \dot{\xi}(x), x^{1/2-\vartheta} \dot{\xi}(x) \right\}, \quad \vartheta \in (0,1), \quad (2)$$

$$\text{dom}(A(\vartheta; \infty)^*) = H_0^2(\mathbb{R}_+) + \text{span} \left\{ x^{1/2} \dot{\xi}(x), x^{1/2} \log(x) \right\}, \quad \vartheta = 0,$$

где $\xi(x) \in C_0^2(R_+)$ – некоторая функция, такая, что $\xi(x) = 1$ при $x \in [0,1]$.

Предложение. Пусть $\vartheta \in [0,1)$. Тогда.

- i. граничную тройку оператора $A(\vartheta; \infty)^*$ можно выбрать в виде
- $$H = C, \Gamma_0^{\vartheta; \infty} f = \left[f, x^{1/2+\vartheta} \right]_0, \Gamma_1^{\vartheta; \infty} f = -(2\vartheta)^{-1} \left[f, x^{1/2-\vartheta} \right]_0,$$
- $$\vartheta \in (0,1) \quad (3)$$

$$\Gamma_1^{\vartheta; \infty} f = \left[f, x^{1/2} \log(x) \right]_0, \vartheta = 0.$$

- ii. соответствующая функция Вейля $M_{\vartheta, \infty}(z), z \in C \setminus R$ имеет вид
- $$M_{\vartheta, \infty}(z) = \exp(i(1-\vartheta)\pi) \frac{\Gamma(1-\vartheta)}{2\vartheta \cdot 4^\vartheta \Gamma(1+\vartheta)}, \vartheta \in (0,1), \quad (4)$$

$$M_{\vartheta, \infty}(z) = -\log\left(\frac{\sqrt{z}}{2}\right) + \frac{i\pi}{2} - \gamma, \vartheta = 0.$$

- iii. Спектральная функция $\Sigma_\vartheta(t)$ оператора $A(\vartheta; \infty)_0 = A(\vartheta; \infty)^*/\Gamma_0^{\vartheta; \infty}$ имеет вид

$$\Sigma_\vartheta(t) = \frac{t^{\vartheta+1}}{2^{2\vartheta+1} \Gamma^2(1+\vartheta)} \chi_{[0, \infty)}(t).$$

Предложение. Пусть $\vartheta \in [0,1), \Pi_{\vartheta, \infty} = \{H, \Gamma_0^{\vartheta; \infty}, \Gamma_1^{\vartheta; \infty}\}$ – граничная тройка для оператора $A(\vartheta; \infty)^*$ Тогда:

- i. область определения фридрихсова расширения $A_F(\vartheta; \infty)$ оператора $A(\vartheta; \infty)$ имеет вид $\text{dom}(A_F(\vartheta; \infty)) = \ker(\Gamma_0^{\vartheta; \infty}) = \{f \in \text{dom}(A(\vartheta; \infty)^*), [f, x^{1/2+\vartheta}]_0 = 0\};$ (6)

- ii. область определения крайновского расширения $A_K(\vartheta; \infty)$ оператора $A(\vartheta; \infty)$ имеет вид

$$\text{dom}(A_K(\vartheta; \infty)) = \{f \in \text{dom}(A(\vartheta; \infty)^*), [f, x^{1/2-\vartheta}]_0 = 0\}. \quad (7)$$

В частности, при $\vartheta = 0$ фридрихсово и крайновское расширения совпадают.

Замечание 3. В работе [3] формулы (4)–(6) получены с использованием классических определений функции Вейля–Титчмарша и фридрихсова расширения. Формулы (6) и (7) можно найти, например, в работе [2]. Однако, именно их объединение с формулой (2) даёт явное описание фридрихсова и крайновского расширений.

Список литературы

1. Ахиезер Н.И., Глазман И.М. Теория линейных операторов в гильбертовом пространстве. – М., 1966.
2. Bruneau L., Dereziński J., Georgescu V. Homogeneous Schrödinger Operators on Half-Line // Ann. Henri Poincaré. – 2011. – V. 12. – P. 547–590.
3. Everitt W.N., Kalf H. The Bessel differential equation and the Hankel transform // J. of Comput. and App. Math. – 2007. – V. 208. – P. 3–19.
4. Fulton C. Titchmarsh–Weyl m-functions for second-order Sturm–Liouville problems with two singular endpoints // Math. Nachr. – 2008. – V. 281, No 10. – P. 1418–1475.

5. Fulton C., Langer H. Sturm–Liouville operators with singularities and generalized Nevanlinna functions // *Comp. Anal. and Opera. Th.* – 2010. – V. 4, No 2. – P. 179–243.
6. Kalf H. A Characterization of the Friedrichs Extension of Sturm-Liouville Operators // *J. London Math. Soc.* – 1978. – Vol. 17, No 2. – P. 511–521.
7. Kostenko A., Teschl G. On the singular Weyl–Titchmarsh function of perturbed spherical Schrödinger operators // *J. Differ. Equat.* – 2011. – V. 250. – P. 3701–3739.
8. Derkach V.A., Malamud M.M. Generalized resolvent and the boundary value problems for Hermitian operators with gaps // *J. Funct. Anal.* – 1991. – Vol. 95, No 1. – P. 1–95.
9. Derkach V.A., Malamud M.M. The extension theory of Hermitian operators and the moment problem // *J. Math. Sci. (New York)*. – 1995. – V. 73. – P. 141–242.
10. Горбачук В.И., Горбачук М.Л. Граничные задачи для дифференциально-операторных уравнений. – Киев, 1984.

УДК 514.133

ГИПЕРБОЛИЧЕСКАЯ ГЕОМЕТРИЯ И СТО

Айдагулов Р.Р., канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
 Московский государственный университет, г. Москва
 Институт машиноведения РАН, г. Москва
a_rust@bk.ru

Физики обосновывают специальную теорию относительности (СТО) на двух принципах (см. [1,2]) – *конечность и постоянство скорости света и одинаковость физических законов во всех инерциальных системах отсчета*. Эти принципы могут быть интерпретированы неоднозначно без построения математической модели пространства-времени. Попытки построения математической (аксиоматической) теории пространства-времени предпринимались и математиками (см. [3–6]). Конечность максимальной скорости означает гиперболичность метрики пространства-времени, следствием которой является также выполнение принципа причинно-следственности [7]. Метрика $\rho: X \times X \rightarrow \mathbb{R}$ называется гиперболической, если $\rho(x, z) \geq \rho(x, y) + \rho(y, z)$, как только определены и положительны $\rho(x, y), \rho(y, z)$; при $\rho(x, y) > 0$ значение $\rho(y, x)$ не определено (отрицательно). Таким образом, y наступает позже (следствие), чем x (причина), так как можно прийти от x к y , а наоборот нет. В [3–5] принимается порядок событий, тем самым гиперболичность метрики. Постоянство скорости света можно отнести к следствию одинаковости физических законов во всех инерциальных системах отсчета. Математически это формулируется как однородность и изотропность пространства [8]. Кроме этого, надо постулировать архимедовость, полноту и локальную компактность. Первое для метрик сводится к делимости, т.е. если $\rho(x, y) > 0$, то

$$\forall \varepsilon > 0 \exists z : \left| \rho(x, z) - \frac{\rho(x, y)}{2} \right| < \varepsilon \ \& \ \left| \rho(z, y) - \frac{\rho(x, y)}{2} \right| < \varepsilon.$$

Полнота позволяет делить точно в любом соотношении, и в сочетании этих свойств с локальной компактностью получаем конечномерность пространства-времени. В монографии [5] из-за неправильного понимания изотропности пространства автор приходит к заключению, что пространство-время должна быть пространством Минковского.

Пространство Минковского обладает всеми необходимыми свойствами, за исключением изотропности [8, 9]. Однако, оно не изотропно, а только квазиизотропно (является симметричным пространством [10]). В квазиизотропном случае группой Ли симметрий пространства (группа Лоренца) может быть любая группа Ли, действующая на пространстве скоростей. Пространство скоростей совпадает с индикатрисой – “сферой” радиуса 1. Когда размерность группы Лоренца больше размерности индикатрисы, появляется нетривиальная группа голономии. Она тривиальная, если группа симметрий (группа Лоренца) коммутативна [8, 9]. Транзитивная коммутативная группа может быть только группой Ли, соответствующей подалгебре Картана группы SL_n . Некоммутативность группы Лоренца (как у метрики Минковского) приводит к повороту системы отсчета космонавта при изменении скорости малыми ускорениями, даже если в итоге он возвращается к исходной скорости [9]. Соответственно, в его (вообще говоря, малость не инерциальной) системе отсчета далекие галактики, поворачиваясь на некоторый угол, превзойдут скорость света. Это противоречит первому принципу. Хотя второй принцип не нарушается из-за малой неинерциальности, построение динамических уравнений (ОТО) на базе такого СТО становится некорректной. Такая СТО не годится ни на что большее, чем кинематика.

Изотропным и даже самосопряженным пространством является пространство Бервальда-Моора с метрикой $ds^n = dx_1 dx_2 \dots dx_n$ в изотропном базисе. Направление течения времени у каждого наблюдателя свое, соответствующее градиенту метрики на индикатрисе. Пространство одновременных событий у наблюдателей совпадает с касательной плоскостью к индикатрисе. Расстояния, время при проектировании из одной системы координат наблюдателя в другую сокращаются, как проекции одного отрезка на другой. Парадокса близнецов нет, он объясняется короткостью проекции по сравнению с оригиналом.

В изотропном базисе (едином для всех инерциальных систем) разные наблюдатели отличаются только масштабированием изотропных осей так, что произведение масштабов равно 1. Это значит, что разные наблюдатели в этих базисах отличаются на диагональную матрицу $\exp D$, $\text{tr} D = 0$. С учетом пространственно-временных координат пересчет от базиса одного наблюдателя к другому выполняется матрицей

$$A \exp D A, \quad A = A^{-1} = A^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{pmatrix},$$

где A – ортогональная симметрическая нормированная матрица Адамара. Эта формула позволяет рассчитать красные смещения и поляризацию света от далеких движущихся объектов. В отличие от геометрии Минковского, здесь не бывает сильной поляризации. Это означает, что космологические парадоксы можно объяснить без темной материи и темной энергии [11]. При этом объясняются и другие странности типа, почему кажется, что вселенная ускоренно расширяется.

Список литературы

1. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т.1. М.: Наука, 1985.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика Тлм 2. Теория поля. – М.: Физматлит, 2018. – 508 с.
3. Гуц А.К. Аксиоматическая теория относительности // Успехи матем. наук. – 1982. – Т. 97, вып. 2(224). – С. 39–79.
4. Guts A.K. Semigroups in foundations of geometry and axiomatic theory of space-time // in “Semigroups in Algebra, Geometry and Analysis” (ed. K.H. Hofmann, J.D. Lawson, E.B. Vinberg) // Expositions in Mathematics. Berlin, 1995. – 368 p. // С. 57-76.
5. Гуц А.К. Хроногеометрия. Аксиоматическая теория относительности. М.: ЛЕНАНД, 2018. – 352 с.
6. Пенроуз Р. Структура пространства-времени. – М.: Мир, 1972. – 184 с.
7. Айдагулов Р.Р. Геометрия и физика // Научно-практический электронный журнал Аллея науки. – 2018. – №10(26)б. – 18 с. (Alley-science.ru).
8. Айдагулов Р.Р. Однородность и изотропия метрик и пространств // Научно-практический электронный журнал Аллея науки. – 2018. – №10(26)б. – 17 с. (Alley-science.ru).
9. Айдагулов Р.Р. Специальная теория относительности // Научно-практический электронный журнал Аллея науки. – 2018. – №10(26)б. – 21 с. (Alley-science.ru).
10. Хелгасон С. Дифференциальная геометрия и симметрические пространства // М.: Мир, 1964. – 541 с.
11. Айдагулов Р.Р. Гидродинамическое объяснение космологических парадоксов // Фундам. и прикл. матем. – 2016. – Т. 21, №4. – С. 3–16.

A CLASS OF WEIGHTED HOLDER SPACES FOR PARABOLIC MODELS OF MATHEMATICAL PHYSICS

S.P. Degtyarev, doctor phys.-math. sciences

State Institution « Institute for applied mathematics and mechanics », Donetsk
degtyar@i.ua

1. Introduction. The present paper is the second part of an investigation of the thin film equations with free boundary in classes of smooth functions (see [1] for the first part). This paper is devoted to studying of some weighted Holder spaces $C_{n, \omega \gamma}^{m + \gamma, \frac{m + \gamma}{m}}$. Here $m + \gamma$ is the order of smoothness, n is the order of a power weight, $\omega \gamma$ also regulates the weighted behaviour of functions and their Holder constants – see (2.1)–(2.11) below for the exact definitions. The aim to introduce these spaces is to obtain appropriate functional framework for studying in classes of smooth functions parabolic and elliptic equations with the degeneration at the boundary of the domain of definition. These equations are, for example, the thin film equations and the porous medium equation. Let us turn now to exact definitions.

2. Definitions and main result. Denote $H = \{x = (x', x_N) \in R^N : x_N > 0\}$, $Q = \{(x, t) : x \in H, -\infty < t < \infty\}$. And we note at once that all the reasoning and statement below are valid in evident way also for $Q^+ = \{(x, t) : x \in H, t \geq 0\}$ instead of Q . Let m be a positive integer and let n be a positive number, $n < m$. Denote $\omega = n/m < 1$.

Let $C_{\omega \gamma}^\gamma(\overline{H})$, $\gamma \in (0, 1)$, be the weighted Holder space of continuous functions $u(x)$ with the finite norm

$$|u|_{\omega \gamma, \overline{H}}^{(\gamma)} \equiv \|u\|_{C_{\omega \gamma}^\gamma(\overline{H})} \equiv |u|_{\overline{H}}^{(0)} + \langle u \rangle_{\omega \gamma, \overline{H}}^{(\gamma)}, \quad (2.1)$$

where

$$|u|_{\overline{H}}^{(0)} = \max_{x \in \overline{H}} |u(x)|, \quad \langle u \rangle_{\omega \gamma, \overline{H}}^{(\gamma)} = \sup_{x, \bar{x} \in \overline{H}} (x_N^*)^{\omega \gamma} \frac{|u(x) - u(\bar{x})|}{|x - \bar{x}|^\gamma}, \quad x_N^* = \max\{x_N, \bar{x}_N\} \quad (2.2)$$

Thus $\langle u \rangle_{\omega \gamma, \overline{H}}^{(\gamma)}$ represents a weighted Holder constant of the function $u(x)$.

We suppose that

$$n < m, \quad \text{if } n \text{ is a non-integer } (1 - \omega)\gamma = \gamma \left(1 - \frac{n}{m}\right) < \min(\{n\}, 1 - \{n\}) \quad (2.3)$$

where for a real number a , $\{a\}$ is the fractional part of a , $[a]$ is the integer part of a . This assumption is technical and it allows us, for example, to consider the functions x_N^{n-j} as elements of $C_{\omega \gamma}^\gamma(\overline{H})$ for all integer $j < n$.

In the similar way we define the Holder semi-norms with respect to each variable separately

$$\langle u \rangle_{\omega\gamma, x_i, \bar{H}}^{(\gamma)} = \sup_{x, \bar{x} \in \bar{H}} (x_N^*)^{\omega\gamma} \frac{|u(x) - u(\bar{x})|}{h^\gamma}, \quad x_N^* = \max\{x_N, \bar{x}_N\}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (2.4)$$

where $x = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_N)$, $\bar{x} = (x_1, \dots, x_i + h, \dots, x_N)$, $h > 0$.

In the standard way we denote by $\langle u \rangle_{x_i, \bar{H}}^{(\gamma)}$, $\langle u \rangle_{x', \bar{H}}^{(\gamma)}$, and $\langle u \rangle_{x, \bar{H}}^{(\gamma)}$ usual unweighted Holder semi-norms with respect to each variable separately, with respect to $x' = (x_1, \dots, x_{N-1})$ or with respect to all x -variables.

Define a weighted Holder space $C_{n, \omega\gamma}^{m+\gamma} \bar{H}$ as the space of continuous functions $u(x)$ with the finite norm

$$\begin{aligned} |u|_{n, \omega\gamma, \bar{H}}^{(m+\gamma)} &\equiv \|u\|_{C_{n, \omega\gamma}^{m+\gamma} \bar{H}} = \\ &= |u|_{\bar{H}}^{(0)} + \sum_{0 < |\alpha| < m-n} |D_x^\alpha u|_{\bar{H}}^\gamma + \sum_{j=0}^{j \leq n} \sum_{\substack{|\alpha|=m-j, \\ \alpha_N \neq m-n}} |x_N^{n-j} D^\alpha u|_{\omega\gamma, \bar{H}}^{(\gamma)} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Here $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_N)$ is a multi-index, $|\alpha| = \alpha_1 + \dots + \alpha_N$, $D^\alpha u = D_{x_1}^{\alpha_1} \dots D_{x_N}^{\alpha_N} u$.

Note that we do not include in the definition of the norm the term $|D_{x_N}^{m-n} u|_{\omega\gamma, \bar{H}}^{(\gamma)}$ in the case of an integer n . The reason is that this term is finite only in the case of the special behaviour of $x_N^n D_{x_N}^m u \rightarrow 0$ at $x_N \rightarrow 0$. This issue will be explained below.

For the spaces with the finite term $|D_{x_N}^{m-n} u|_{\omega\gamma, \bar{H}}^{(\gamma)}$ in the case of an integer n we use the notation with cap. That is the space $\hat{C}_{n, \omega\gamma}^{m+\gamma}(\bar{H})$ is the space with the finite norm

$$|\hat{u}|_{n, \omega\gamma, \bar{H}}^{(m+\gamma)} \equiv \|u\|_{\hat{C}_{n, \omega\gamma}^{m+\gamma}(\bar{H})} = |u|_{\bar{H}}^{(0)} + \sum_{0 < |\alpha| < m-n} |D_x^\alpha u|_{\bar{H}}^\gamma + \sum_{j=0}^{j \leq n} \sum_{|\alpha|=m-j} |x_N^{n-j} D^\alpha u|_{\omega\gamma, \bar{H}}^{(\gamma)}. \quad (2.6)$$

Theorem. The norm in (2.5) is equivalent to the norm

$$|\tilde{u}|_{n, \omega\gamma, \bar{H}}^{(m+\gamma)} = |u|_{\bar{H}}^{(0)} + \sum_{i=1}^N \langle x_N^n D_{x_i}^m u \rangle_{\omega\gamma, x_i, \bar{H}}^{(\gamma)} \quad (2.7)$$

and the norm in (2.6) in the case of an integer n is equivalent to the norm

$$|\hat{u}|_{n, \omega\gamma, \bar{H}}^{(m+\gamma)} = |u|_{\bar{H}}^{(0)} + \langle D_{x_N}^{m-n} u \rangle_{\omega\gamma, x_N, \bar{H}}^{(\gamma)} + \sum_{i=1}^N \langle x_N^n D_{x_i}^m u \rangle_{\omega\gamma, x_i, \bar{H}}^{(\gamma)}. \quad (2.8)$$

References

1. Degtyarev S.P. Liouville Property for Solutions of the Linearized Degenerate Thin Film Equation of Fourth Order in a Halfspace – Results in Mathematics. DOI 10.1007/s00025-015-0467-x, 2015.
2. P.Daskalopoulos, R.Hamilton. Regularity of the free boundary for the porous medium equation // J.Amer.Math.Soc. – 1998. – V. 11, № 4. – P. 899-965.
3. Paul M.N. Feehan, Camelia A. Pop. Schauder a priori estimates and regularity of solutions to boundary-degenerate elliptic linear second-order partial differential equations // J.Differ.Equations. – 2014. – V. 256, № 3. – P. 895-956.

4. Sunghoon Kim, Ki-Ahm Lee. Smooth solution for the porous medium equation in a bounded domain // J.Differ.Equations. – 2009. – V. 247, № 4. – P. 1064-1095.
5. Degtyarev S.P. Classical solvability of multidimensional two-phase Stefan problem for degenerate parabolic equations and Schauder's estimates for a degenerate parabolic problem with dynamic boundary conditions // Nonlinear Differential Equations and Applications (NoDEA). – 2015. – V. 22, № 2. – P. 185-237.
6. Simon L. Schauder estimates by scaling // Calc. Var. Partial Differ. Equ. – 1997. – V. 5, № 5. – P. 391-407.
7. Dominik John. On Uniqueness of Weak Solutions for the Thin-Film Equation // Journal of Differential Equations. – 2015. – V. 259, № 8. – P. 4122-4171.

УДК 517.5

ТЕОРЕМА ЕДИНСТВЕННОСТИ ДЛЯ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЯ СВЁРТКИ С РАДИАЛЬНЫМ СВЁРТЫВАТЕЛЕМ

Зарайский Д.А.

ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, ДНР
d.zaraisky@gmail.com

Обозначим B_r и S_r открытый – шар и сферу радиуса r с центром в начале координат в \mathbf{R}^n . Пусть $E'_\#(\mathbf{R}^n)$ – пространство радиальных, т. е. инвариантных относительно группы вращений, распределений на \mathbf{R}^n с компактными носителями. Для ненулевого распределения $T \in E'_\#(\mathbf{R}^n)$ обозначим через $r(T)$ – радиус наименьшего замкнутого шара, содержащего носитель T , и через $D'_T(B_R)$ – множество распределений $f \in D'_T(B_R)$, удовлетворяющих однородному уравнению свёртки $f * T = 0$ (область определения свёртки $f * T$ – шар $B_{R-r(T)}$).

Теорема единственности Ф. Йона – Дж. Смита – В.В. Волчкова утверждает, что если $f \in D'_T(B_R)$, и $f = 0$ на $B_{r(T)+\varepsilon}$, $r(T) < r(T) + \varepsilon < R$, то $f = 0$ на B_R ; кроме того, если $f \in D'_T(B_R) \cap C^\infty(B_R)$, единственность имеет место и в предположении, что $f = 0$ на B_r , причём условие гладкости отбросить в этом случае уже нельзя, см. [1, § 14.2, § 14.3]. Некоторые более точные результаты в этом направлении см. также в [1], [2] и [3].

Согласно «теореме о полусфере», также принадлежащей В.В. Волчковой ([4, Theorem 3.7], [1, Theorem 14.3]), если $f \in D'_T(B_R)$, $R > r(T)$, гладко в окрестности замкнутой полусферы $S_{r(T)}^+ = \{x \in \mathbf{R}^n : |x| = r(T), x_1 \geq 0\}$, и $f = 0$ на $B_{r(T)}$, то $f = 0$ на B_R .

Имеет место следующая теорема единственности, в частном случае $U \supset S_r^+$ дающая теорему о полусфере В.В. Волчкова.

Теорема. Пусть $T \in E'_\#(\mathbf{R}^n)$, $r(T) > 0$, и $f \in D'_T(B_R)$, $R > r(T)$. Предположим, что $f = 0$ на $B_{r(T)}$, и ограничение f на U принадлежит $C^\infty(U)$ для некоторого открытого множества $U \subset B_R$, такого что $U \cup -U \supset S_{r(T)}$.

Тогда $f = 0$ на всём B_R .

Список литературы

1. Volchkov V.V., Volchkov Vit.V. Harmonic Analysis of Mean Periodic Functions on Symmetric Spaces and the Heisenberg Group. – London: Springer, 2009. – 672 p.
2. Волчков В.В. Окончательный вариант локальной теоремы о двух радиусах // Математический сборник. – 1995. – Том 186, № 6. – С. 15-34.
3. Зарайский Д.А. Уточнение теоремы единственности для решений уравнения свёртки // Труды ИПММ. – 2006. – Том 12. – С. 69-75.
4. Volchkov V.V., Volchkov Vit.V. Convolution equations and the local Pompeiu property on symmetric spaces and on phase space associated to the Heisenberg group. // J. Anal. Math. – 2008. – Vol. 105. – P. 43-124.

УДК 517.5+519.213

НЕРАВЕНСТВА ДЛЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ОПРЕДЕЛЁННЫХ ФУНКЦИЙ

Заставный В.П., д-р физ.-мат. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
zastavn@rambler.ru

Рассматривается класс $\Phi(G)$ – класс положительно определенных функций на абелевой группе G . Центральное место в работе занимает основное неравенство для положительно определенных функций – неравенство Коши-Буняковского для специального полускалярного произведения, порожденного заданной положительно определенной функцией. При подходящем выборе системы точек и коэффициентов в основном неравенстве получаются неравенства Крейна, Вейля и Горина. Показано, что неравенство Ингама (в частности и Гильберта) – это по существу основное неравенство, записанное для положительно определенной на R функции $\sin(\pi x)/x$ и для целочисленной системы точек. С помощью основного неравенства доказаны новые неравенства типа неравенств Крейна-Горина.

Теорема 1. Пусть G – абелева группа и $f \in \Phi(G)$. Тогда для любого $n \in \mathbb{N}$, для произвольных наборов точек $\{x_k\}_{k=1}^n, \{y_k\}_{k=1}^n \subset G$, и для любых чисел $\xi_k, \eta_k \in \mathbb{C}$, $|\xi_k| \leq 1, |\eta_k| \leq 1$, $k = 1, \dots, n$, выполняются неравенства

$$\begin{aligned} \sqrt{\left| f(0) - \xi_1 \dots \xi_n f\left(\sum_{k=1}^n x_k\right) \right|} &\leq \sum_{k=1}^n \sqrt{|f(0) - \xi_k f(x_k)|}, \\ \sqrt{\operatorname{Re}\left(f(0) - \xi_1 \dots \xi_n f\left(\sum_{k=1}^n x_k\right)\right)} &\leq \sum_{k=1}^n \sqrt{\operatorname{Re}(f(0) - \xi_k f(x_k))}, \\ \left| \xi_1 \dots \xi_n f\left(\sum_{k=1}^n x_k\right) - \eta_1 \dots \eta_n f\left(\sum_{k=1}^n y_k\right) \right|^2 &\leq 2f(0)n \sum_{k=1}^n \operatorname{Re}(f(0) - \xi_k \bar{\eta}_k f(x_k - y_k)). \end{aligned}$$

Последнее неравенство при $\xi_k = \xi, \eta_k = \eta$, $|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1$, $k = 1, \dots, n$, в 2015 году доказал Е.А. Горин [1] (см. также работу А.Б. Певный, С.М. Ситник [2], в которой для $G = \mathbb{R}$ рассмотрены случаи $\xi = 1, \eta = 1$ и $\xi = 1, \eta = -1$).

В следующей теореме получены достаточные условия интегрируемости положительно определенной функции.

Теорема 2. 1) Пусть $g \in \Phi(\mathbb{R}^d)$, $g(x) \geq 0$ при всех $x \in \mathbb{R}^d$, и сходится ряд $\sum_{k \in \mathbb{Z}^d} g(k)$. Тогда: i) При всех $x \in \mathbb{R}^d$ выполняется неравенство

$$\varphi(x) := \sum_{k \in \mathbb{Z}^d} g(x+k) \leq \sum_{k \in \mathbb{Z}^d} g(k), \quad (1)$$

и $\varphi \in \Phi(\mathbb{R}^d)$. Если дополнительно $g \in C(\mathbb{R}^d)$, то $\varphi \in C(\mathbb{R}^d)$ и ряд (1) сходится равномерно на любом компакте из \mathbb{R}^d .

ii) Если дополнительно функция g измерима по Лебегу, то $g \in L_1(\mathbb{R}^d)$ и

$$\int_{\mathbb{R}^d} g(x) dx \leq \sum_{k \in \mathbb{Z}^d} g(k). \quad (2)$$

При этом неравенство (2) обращается в равенство тогда и только тогда, когда при всех $x \in \mathbb{R}^d$ неравенство (1) обращается в равенство.

2) Если измеримая по Лебегу функция $f \in \Phi(\mathbb{R}^d)$ и $\sum_{k \in \mathbb{Z}^d} |f(k)|^2 < \infty$, то $f \in L_2(\mathbb{R}^d)$.

Список литературы

1. Горин Е.А. Некоторые неравенства для положительно определенных функций, Функц. анализ и его прил., 49:4 (2015), 76–78; Funct. Anal. Appl., 49:4 (2015), С. 301-303.
2. Певный А.Б., Ситник С.М., Обобщения неравенств М. Г. Крейна, Е. А. Горина и Ю. В. Линника для положительно определенных функций на многоточечный случай, Сиб. электрон. матем. изв., 16 (2019), 263–270, arXiv: <https://arxiv.org/pdf/1609.01218v1.pdf>.

АЛГОРИТМ ПРИВЕДЕНИЯ ДВУМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ТИПА К КАНОНИЧЕСКОМУ ВИДУ

Илюхин А.А., д-р физ.-мат. наук, профессор
«Таганрогский институт имени А.П.Чехова (филиал) ФГБОУ ВПО «Ростовский
государственный экономический университет (РИНХ)», г. Таганрог, РФ
aleilyukhin@yandex.ru

Основная цель работы дать исследователю, использующему уравнения в частных производных эллиптического типа, возможность достаточно простого и надежного способа приведения уравнения к виду, где в его главной части присутствует оператор Лапласа. В отличие от известных ранее методов нормализации уравнений математической физики предложен алгоритм приведения уравнения эллиптического типа к каноническому виду, который не требует перехода в комплексную плоскость. Для реализации этого алгоритма необходимо решить обыкновенные дифференциальные уравнения, которые проще характеристических уравнений в гиперболическом случае. Решение поставленной задачи сводится к алгоритму построения решения системы обыкновенных уравнений достаточно простого вида и осуществляется в исходной области в плоскости действительных переменных.

Постановка задачи. Рассмотрим возможность упрощения уравнения

$$a_{11}u_{xx} + 2a_{12}u_{xy} + a_{22}u_{yy} + 2a_{13}u_x + 2a_{23}u_y + a_{33}u = f$$

при условии $a_{12}^2 - a_{11}a_{22} < 0$ в этом случае правые части характеристических уравнений (12.27) и (12.28) в [2] при действительных значениях x и y принимают комплексные значения, причём комплексно-сопряжённые. Что послужило основанием в некоторых учебных пособиях считать решения уравнений (12.27) и (12.28) комплексно-сопряжёнными функциями и в случае эллиптического типа. При этом авторы не учитывают, что для комплексных значений функции $u(x)$ (x можно считать действительной переменной – она является независимой, её действительность можно принять по определению) коэффициенты $a_{11}(x, y)$, $a_{12}(x, y)$ и $a_{22}(x, y)$ будут, скорее всего принимать комплексные значения, для которых правые части в (12.27) и (12.28) не будут сопряжёнными. Однако необходимо помнить, что функции переменных x , y можно рассматривать только в области определения D , где x и y принимают только действительные значения. В тоже время функции $\xi(x, y)$ и $\eta(x, y)$ в области D будут комплексно-значными. Из уравнений (12.27) и (12.28) не следует, что производные в (12.31) будут комплексно – сопряженными. Поэтому возникает естественный вопрос: почему

упрощение уравнения можно проводить по той же схеме, что и в случае $a_{12}^2 - a_{11}a_{22} \geq 0$. Если для любого из двух дифференциальных уравнений (12.27) и (12.28) взять начальные значения $(x_0, y_0) \in D$, то в силу того, что правые части в этих уравнениях в точке (x_0, y_0) будут принимать комплексные значения, производная $\left. \frac{dy}{dx} \right|_{(x_0, y_0)}$ – комплексная величина.

Тогда траектории дифференциальных уравнений (12.8) и (12.9) выйдут из плоскости (x, y) , а, следовательно, из области D . Возникает еще один вопрос: каким образом будут определяться вне области D все функции переменных x и y , в частности, коэффициенты a_{11} , a_{12} и a_{22} , входящие в уравнения (12.8) и (12.9)? Если эти функции доопределить вне области D с сохранением необходимой гладкости, то для комплексных значений аргументов функции $a_{ij}(x, y)$ будут принимать комплексные значения. Но для комплексных значений a_{ij} правые части в уравнениях (12.27) и (12.28) не будут комплексно – сопряженными. Следовательно, интегралы этих уравнений не будут комплексно – сопряженными. Поэтому рассматривая комплексную замену переменных не получим комплексно – сопряженных переменных ξ и η .

Но это означает, что традиционная замена переменных $\alpha = \frac{\xi + \eta}{2}, \beta = \frac{\xi - \eta}{2i}$ не приводит к действительным аргументам α и β . Следовательно, для этих переменных вид главной части $U_{\alpha\alpha} + U_{\beta\beta}$, не есть канонический в силу комплексности аргументов α и β . В уравнении эллиптического типа главная часть не может быть действительной заменой приведена к виду, содержащему лишь одну частную производную, т.к. его дискриминант будет равным нулю, либо будет отличным от нуля коэффициент при смешанной производной. А это соответствует гиперболическому типу уравнения. Поэтому поставим изначально задачу обратить в нуль только один коэффициент. Чтобы эллиптический тип уравнения сохранился в качестве такового, в преобразованном уравнении должен обратиться в нуль коэффициент при смешанной производной:

$$A_{12} = a_{11}\xi_x\eta_x + a_{12}(\xi_x\eta_y + \xi_y\eta_x) + a_{22}\xi_y\eta_y = 0 .$$

Запишем это равенство в следующем виде

$$(a_{11}\eta_x + a_{12}\eta_y)\xi_x + (a_{12}\eta_x + a_{22}\eta_y)\xi_y = (a_{11}\xi_x + a_{12}\xi_y)\eta_x + (a_{12}\xi_x + a_{22}\xi_y)\eta_y = 0 .$$

Так как для отыскания замены переменных возникает только одно уравнение, то имеющийся произвол можно устранить, рассмотрев один из вариантов:

$$1) \begin{cases} a_{11}\eta_x + a_{12}\eta_y = 0 \\ \xi_y = 0 \end{cases} ; \quad 2) \begin{cases} a_{12}\eta_x + a_{22}\eta_y = 0 \\ \xi_x = 0 \end{cases} .$$

Пусть задано преобразование вида $\xi = \xi(x, y), \eta = \eta(x, y)$.

Запишем равенство, приравняв нулю коэффициент при смешанной производной. Для отыскания замены переменных возникает только одно уравнение, то имеющийся произвол можно устранить, рассмотрев один из четырех вариантов:

$$1) \begin{cases} a_{11}\eta_x + a_{12}\eta_y = 0 \\ \xi_y = 0 \end{cases}; 2) \begin{cases} a_{12}\eta_x + a_{22}\eta_y = 0 \\ \xi_x = 0 \end{cases}; 3) \begin{cases} a_{12}\xi_x + a_{22}\xi_y = 0 \\ \eta_x = 0 \end{cases}; 4) \begin{cases} a_{11}\xi_x + a_{12}\xi_y = 0 \\ \eta_y = 0 \end{cases}.$$

В каждом из этих вариантов одна из «новых» переменных связана только с одной из «старых» переменных. Следует отметить, что варианты 1) и 4) по – существу совпадают. Точно также совпадают варианты 2) и 3). Отличие состоит только в обмене ролями между переменными ξ и η , или, что то же самое в замене обозначений для новых переменных.

Изучению подлежит лишь случай, когда все три коэффициента a_{11} , a_{12} и a_{22} , не обращаются в нуль. Поэтому можно остановиться на первом

случае
$$\begin{cases} a_{11}\eta_x + a_{12}\eta_y = 0 \\ \xi_y = 0 \end{cases}.$$

Из второго уравнения следует, что $\xi = \xi(x)$. В связи с уравнением $a_{11}\eta_x + a_{12}\eta_y = 0$ справедливо $a_{11}(x,y)dy - a_{12}(x,y)dx = 0$.

В предлагаемой замене переменных имеется определённый произвол: $\xi(x)$ – произвольная функция, и хотя $\eta(x,y) = C$ – интеграл характеристического уравнения, но достаточно гладкая функция $f(\eta(x,y)) = C$ – также является интегралом. Поэтому поставим задачу: одновременно с равенством $A_{12} = 0$ подобрать $\xi = \xi(x)$ и $\eta = \eta(x,y)$ так, чтобы выполнялось ещё одно равенство $A_{11} = A_{22} = A$, которое обеспечит следующий вид главной части:

$$A \left(\frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial \eta^2} \right) + F(u_\xi, u_\eta, u, \xi, \eta) = 0.$$

Преобразование можно записать в следующем виде $a_{11}(\xi_x)^2 = a_{12}\eta_x\eta_y + a_{22}(\eta_x)^2$.

С учетом невырожденности проводимого преобразования можно получить

$$(\xi_x)^2 = \frac{a_{11}a_{22} - a_{12}^2}{a_{11}^2} (\eta_y)^2$$

и его правая часть будет зависеть только от x . Выполнение этого условия позволит определить функцию $\xi = \xi(x)$ вместе с функцией $\eta = \eta(x,y)$, найденной из уравнения $a_{12}\eta_x + a_{12}\eta_y = 0$. Эти две функции зададут преобразование, с помощью которого уравнение (1) будет иметь вид (11), называемый *каноническим* для уравнения эллиптического типа.

Список литературы

1. Векуа И.Н. Обобщенные аналитические функции. – М.: Физматгиз, 1959. – 628 с
2. Илюхин А.А. Уравнения математической физики. – Таганрог: Изд-во ТГПИ, 2010.

АПРИОРНЫЕ ОЦЕНКИ ДЛЯ СИСТЕМ МИНИМАЛЬНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ В АНИЗОТРОПНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ СОБОЛЕВА

Лиманский Д.В., канд. физ.-мат. наук, доцент, ст. науч. сотр.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, ДНР
4125aa@gmail.com

Пусть Ω — произвольная область в \mathbb{R}^n , $p \in [1, \infty]$, $l = (l_1, \dots, l_n) \in \mathbb{N}^n$, $|\alpha: l| = \frac{\alpha_1}{l_1} + \dots + \frac{\alpha_n}{l_n}$. Рассмотрим в $L^p(\Omega)$ систему дифференциальных операторов вида

$$P_j(x, D) = \sum_{|\alpha: l| \leq 1} a_{j\alpha}(x) D^\alpha, \quad j \in \{1, \dots, N\}. \quad (1)$$

Не нарушая общности, считаем, что $l_1 \geq \dots \geq l_n$. Разобьем числа l_1, \dots, l_n на m групп, отнеся в j -ю группу n_k равных между собой чисел, $n_1 + \dots + n_m = n$. Тогда \mathbb{R}^n раскладывается в прямую сумму координатных подпространств E_1, \dots, E_m , где E_k соответствует k -й группе равных друг другу чисел, причем $\dim E_k = n_k$, $k \in \{1, \dots, m\}$.

Теорема. Пусть $l = (l_1, \dots, l_n) \in \mathbb{N}^n$, $l_1 \geq \dots \geq l_n$ и $\{P_j(D)\}_1^N$ — система дифференциальных операторов вида (1) с постоянными коэффициентами.

Если для каждого $k \in \{1, \dots, m\}$ сужение системы полиномов $\{P_j(\xi)\}_1^N$ на координатное подпространство E_k является эллиптической системой, то система операторов $\{P_j(D)\}_1^N$ слабо коэрцитивна в анизотропном пространстве Соболева $W_\infty^{0,l}(\mathbb{R}^n)$ тогда и только тогда, когда она l -квазиэллиптика.

Список литературы

1. Лиманский Д.В. О минимальных дифференциальных полиномах от двух переменных, слабо коэрцитивных в анизотропных пространствах Соболева / Д.В. Лиманский // Труды ИПММ. – 2016. – Т. 30. – С. 109-119.
2. Лиманский Д.В. Эллиптические и слабо коэрцитивные системы операторов в пространствах Соболева / Д.В. Лиманский, М.М. Маламуд // Матем. сборник. – 2008. – Т. 199. – № 11. – С. 75–112.
3. Лиманский Д.В. Слабо коэрцитивные неквазиэллиптические системы дифференциальных операторов в $W_p^l(\mathbb{R}^n)$ / Д.В. Лиманский, М.М. Маламуд // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 415. – № 5. – С. 583–588.

ОБ ОДНОМ ОБОБЩЕНИИ ТЕОРЕМЫ О ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОПРЕДЕЛЁННОСТИ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ ФУНКЦИИ

Манов А.Д.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, ДНР

manov.ad@ro.ru

Пусть G абелева группа. Комплекснозначная функция $f: G \rightarrow \mathbb{C}$ называется положительно определенной на G ($f \in \Phi(G)$), если при любом $m \in \mathbb{N}$, для любого набора элементов $\{x_k\}_{k=1}^m \subset G$ и любых комплексных чисел $\{c_k\}_{k=1}^m \subset \mathbb{C}$ выполняется неравенство

$$\sum_{k,j=1}^m c_k \bar{c}_j f(x_k - x_j) \geq 0.$$

Из определения выше вытекает, что если $f \in \Phi(G)$ и H подгруппа группы G , то f (её сужение) положительно определена на H . Если $H \neq G$, то несложно построить пример функции f на G , которая положительно определена на H , но $f \notin \Phi(G)$. В тоже время существуют функции на G для которых положительная определённость на группе G равносильна положительной определённости на некоторой собственной подгруппе H . Например, хорошо известна следующая теорема (см., например, [1, Exercise 1.10.25]):

Теорема А. Пусть f кусочно-линейная функция на \mathbb{R} с множеством узлов в целых точках. Тогда $f \in \Phi(\mathbb{R}) \Leftrightarrow f \in \Phi(\mathbb{Z})$.

Теоремы аналогичные теореме А, а также их обобщения на локально компактные абелевы группы (см., например, [2, А.7.1], [3]) применяются в различных вопросах теории положительно определённых функций.

Прежде чем сформулировать основной результат, зафиксируем некоторые обозначения. Если G локально компактная абелева группа, то символом m_G будем обозначать меру Хаара на G и $L_p(G) := L_p(G, m_G)$ при $1 \leq p \leq \infty$.

Нами доказан следующий аналог теоремы А.

Теорема 1. Пусть G абелева группа и H её локально компактная подгруппа. Пусть $g \in \Phi(G)$ и $f \in \Phi(H)$ такие, что $f(\cdot)g(x - \cdot) \in L_1(H) \cap C(H)$ для всех $x \in G$. Тогда следующая функция положительно определена на G :

$$F(x) := \int_H f(t)g(x-t)dm_H(t), \quad x \in G.$$

Достаточность в теореме А вытекает из теоремы 1, если взять $G = R$, $H = Z$ и $g(x) = (1 - |x|)_+$, $x \in R$. Для этого достаточно заметить, что любую кусочно-линейную на R функцию f с множеством узлов в целых точках можно представить в виде:

$$f(x) = \sum_{k \in Z} f(k)g(x - k), \quad x \in R.$$

Список литературы

1. Sasvári Z. Positive Definite and Definitizable Functions / Z. Sasvári. – Berlin: Akad. Verl., 1994. – 208 p.
2. Graham C. C. Essays in Commutative Harmonic Analysis / C. C. Graham, O. C. McGehee. – New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1979.
3. Maclean A. Transforms of measures on quotients and spline functions / A. Maclean // Transactions of the American Mathematical Society. – 1980 – Vol. 261, № 1. – P. 287-296.

УДК 517.95

О ПРИНЦИПЕ МАКСИМУМА ДЛЯ ОДНОЙ ЗАДАЧИ КОШИ

Манов А. Д.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
 ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, ДНР
manov.ad@ro.ru

Хорошо известен принцип максимума для решений задачи Коши уравнения теплопроводности (см., например, [1, Лемма 6.3]). В последнее время особый интерес представляют уравнения дробного порядка (см. [2], [3]). В частности, интерес представляет задача Коши для нелокального уравнения теплопроводности:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + (-\Delta)^s u = 0, & (x, t) \in R^n \times (0, \infty), \quad s \in (0, 1), \\ u(x, 0) = u_0(x) \end{cases}, \quad (1)$$

где $(-\Delta)^s$ дробный оператор Лапласа (определение см., например, в [2], [3]).

В работе [2] рассмотрен один из вариантов принципа максимума для решения задачи (1) (см. [2, Лемма 3.2]).

В данной работе доказана следующая теорема.

Теорема 1. Пусть $u(t, x)$ непрерывное и ограниченное решение задачи (1). Тогда

$$\inf_{R^n} u_0(x) \leq u(t, x) \leq \sup_{R^n} u_0(x).$$

Кроме того, если для некоторых $t > 0$ и $x \in R^n$ неравенство обращается в равенство, то $u(t, x) = \text{const}$.

Доказательство теоремы 1 основано на общем виде решения задачи (1) (см., например, [2, (1.4)] и положительной определённости функции $e^{-|x|^\alpha}$, $x \in \mathbb{R}^n$ при $\alpha \in (0, 2]$. Метод доказательства допускает обобщение для решений задач более общего вида, чем задача (1).

Список литературы

1. Шубин М. А. Лекции об уравнениях математической физики / М. А. Шубин – Москва: МЦНМО, 2003 – 303 с.
2. Barrios B. A Widder's Type Theorem for the Heat Equation with Nonlocal Diffusion / B. Barrios, I. Peral, F. Soria, E. Valdinoci // Arch. Rational Mech. Anal. – 2014 – Vol. 213 – P. 631–650.
3. Greco A. Existence and convexity of solutions of the fractional heat equation / A. Greco, A. Iannizzotto // Communications on Pure and Applied Analysis. – 2017 – Vol. 6, No 16. – P. 2201–2226.

УДК 517.988.28

РАДИУС ПОМПЕЙЮ ДЛЯ РАВНОБЕДРЕННОГО ПРЯМОУГОЛЬНОГО ТРЕУГОЛЬНИКА

Машаров П.А., канд. физ.-мат. наук,
Рыбенко Е.А.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
p.masharov@donnu.ru

Введение и постановка задачи. Пусть \mathbb{R}^n – вещественное евклидово пространство размерности $n \geq 2$ с евклидовой нормой $|\cdot|$, $M(n)$ – группа движений \mathbb{R}^n . Компактное множество $K \subset \mathbb{R}^n$ называется множеством Помпейю в открытом множестве $B \subset \mathbb{R}^n$, если всякая локально суммируемая функция $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{C}$, для которой

$$\int_{\lambda K} f(x) dx = 0 \quad (1)$$

при всех $\lambda \in M(n)$, для которых $\lambda K \subset B$ (далее множество таких λ будем обозначать $\text{Mot}(K, B)$), равна нулю почти всюду. Совокупность всех множеств Помпейю в B будем обозначать $\mathcal{P}(B)$. Классическая проблема Помпейю состоит в описании $\mathcal{P}(\mathbb{R}^n)$, была поставлена в 1929 году и в настоящее время хорошо изучена (см. обзоры [1–2] с обширной библиографией). В [3] было получено, что если $K \in \mathcal{P}(\mathbb{R}^n)$, то $K \in \mathcal{P}(\mathbb{B}_R)$, где $\mathbb{B}_R = \{x \in \mathbb{R}^n: |x| < R\}$, $R \geq r_*(K)$, $r_*(K) = \inf\{R > 0: \lambda K \subset \mathbb{B}_R, \lambda \in M(n)\}$. В связи с этим, в [3] поставлена проблема.

Проблема. Для данного компактного $K \subset \mathbb{R}^n$ найти значение

$$\mathcal{R}(K) = \inf\{R > 0: K \in \mathcal{P}(\mathbb{B}_R)\},$$

которое естественно называть радиусом Помпейю множества K .

Достаточно полное описание множеств, для которых решена указанная проблема или получены оценки искомой величины, уточняющие ранее известные, содержится в [3-5]. В данной работе получено значение $\mathcal{R}(T)$, где T – равнобедренный прямоугольный треугольник с катетами длины 1. Всюду далее размерность пространства $n = 2$.

Вспомогательные утверждения. Рассмотрим дифференциальные операторы $\nabla_1 = \frac{\partial}{\partial x}$, $\nabla_2 = \frac{\partial}{\partial y}$, $\nabla_3 = \left(\frac{\partial}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y}\right)$ и некоторую окрестность T_ε треугольника T с вершинами в точках $A(\xi, \eta)$, $B(\xi + 1, \eta)$, $C(\xi, \eta + 1)$. Непосредственными вычислениями получается

Лемма 1. Пусть $f \in C^3(T_\varepsilon)$. Тогда имеют место равенства

$$\begin{aligned} \iint_T (\nabla_1 \nabla_3 f)(x, y) dx dy &= f(B) - f(A) - \int_\eta^{\eta+1} (\nabla_1 f)(\xi, y) dy, \\ \iint_T (\nabla_1 \nabla_2 f)(x, y) dx dy &= f(A) - f(C) + \int_\eta^{\eta+1} (\nabla_2 f)(\eta + 1 + \xi - y, y) dy, \\ \iint_T (\nabla_1 \nabla_2 \nabla_3 f)(x, y) dx dy &= (\nabla_2 f)(B) + (\nabla_3 f)(A) - (\nabla_1 f)(C). \end{aligned}$$

Учитывая, что $r_*(T) = \sqrt{2}/2$, $\text{Mot}(T, \mathbb{B}_R) \neq \emptyset$ только если $R > \sqrt{2}/2$, поэтому далее имеет смысл рассматривать только такие R . Пусть $O(0; 0)$ – начало координат, $\rho(O, e)$ – расстояние от центра круга \mathbb{B}_R до элемента треугольника T (вершины или стороны). Рассмотрим величины $M_\Pi = \sup\{\rho(O, \lambda A) : \lambda \in \text{Mot}(T, \mathbb{B}_R)\}$, $M_0 = \sup\{\rho(O, \lambda B) : \lambda \in \text{Mot}(T, \mathbb{B}_R)\}$, $M_K = \sup\{\rho(O, \lambda(AB)) : \lambda \in \text{Mot}(T, \mathbb{B}_R)\}$, $M_\Gamma = \sup\{\rho(O, \lambda(BC)) : \lambda \in \text{Mot}(T, \mathbb{B}_R)\}$ – максимальные расстояния до вершин прямого, острого углов, катета и гипотенузы соответственно. Аналогичным образом введем минимальные расстояния m_Π , m_0 , m_K , m_Γ , определяемые при помощи инфинума. Исходя из геометрических соображений, получаем такое утверждение.

Лемма 2. Имеют место равенства

$$\begin{aligned} M_\Pi &= M_0 = R; M_K = \sqrt{R^2 - \frac{1}{4}}; M_\Gamma = \sqrt{R^2 - \frac{1}{2}}; \\ m_\Pi &= \max\left\{0, \frac{\sqrt{2}}{2} - \sqrt{R^2 - \frac{1}{2}}\right\}, m_0 = \max\{0, \sqrt{2} - R\}, \\ m_K &= \max\left\{0, \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{R^2 - \frac{1}{2}}\right\}, m_\Gamma = 0. \end{aligned}$$

Повторяя доказательство лемм 5 и 6 из [5], используя леммы 1 и 2, получаем такие утверждения (обозначения также взяты из [5]).

Лемма 3. Пусть $R > \sqrt{2}/2$ и $f \in \mathfrak{F}_0^\infty(T, \mathbb{B}_R)$. Тогда существует ненулевой многочлен $q: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$ такой, что $q(\Delta)f = 0$ в $\mathbb{B}(m_\Pi, R)$.

Если $R > \sqrt{\frac{2+\sqrt{2}}{3+2\sqrt{2}}}$ то $q(\Delta)f = 0$ в \mathbb{B}_R .

Повторяя доказательство леммы 7 из [5], получаем

Лемма 4. Пусть $R > \sqrt{2}/2$, для некоторой функции $f \in \mathfrak{F}_0^\infty(T, \mathbb{B}_R)$ и для некоторого многочлена $q: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$ выполняется $q(\Delta)f = 0$ в \mathbb{B}_R . Тогда $f = 0$ в \mathbb{B}_R .

Формулировка и доказательство основного результата. Основным результатом работы является

Теорема. Имеет место равенство $\mathcal{R}(T) = \sqrt{\frac{2+\sqrt{2}}{3+2\sqrt{2}}}$.

Доказательство. Рассмотрим сначала случай $R \in \left(\frac{\sqrt{2}}{2}; \sqrt{\frac{2+\sqrt{2}}{3+2\sqrt{2}}}\right)$.

Исходя из леммы 2, для указанного R выполняется неравенство $m_K > M_\Gamma$. Пусть для $j \in \{1, 2\}$ функции $g_j(d)$ определены формулой

$$g_j(d) = \begin{cases} 0, & 0 \leq d \leq M_\Gamma; \\ \exp\left(\frac{j}{(d - M_\Gamma)(d - m_K)}\right), & M_\Gamma < d < m_K; \\ 0, & d \geq m_K. \end{cases}$$

Тогда существуют такие радиальные функции $f_j \in C^\infty(\mathbb{R}^2)$, что их преобразование Радона по прямым $\mathbf{R}f_j(\omega, d) = g_j(d)$ для всех $|\omega| = 1$, $d \geq 0$. Эти функции линейно независимы, поэтому можно подобрать такой ненулевой набор чисел $\{\alpha_j\}$, что линейная комбинация $f = \alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2$ не равна нулю тождественно и обладает свойствами: имеет нулевые интегралы по всем прямым с расстоянием до начала координат меньшим M_Γ и большим m_K , а также интеграл от которой по сегменту круга радиуса m_K с расстоянием до хорды равно M_Γ равно нулю. Поэтому для такой ненулевой функции выполняется (1) для соответствующих λ и $K = T$.

Пусть теперь $R > \sqrt{\frac{2+\sqrt{2}}{3+2\sqrt{2}}}$. Рассмотрим произвольную $f \in \mathfrak{F}_0^\infty(T, \mathbb{B}_R)$.

Применяя леммы 3 и 4, получаем $f = 0$ в \mathbb{B}_R , то есть $\mathfrak{F}_0^\infty(T, \mathbb{B}_R) = \{0\}$. Применение утверждения, аналогичного следствию 1 из [5], завершает доказательство теоремы.

Выводы. В работе впервые получено явное значение $\mathcal{R}(T) \approx 0,765$, которое уточняет известную ранее оценку, полученную для широкого класса множеств $\mathcal{R}(T) \leq \sqrt{2} \approx 1,41$. Подобные результаты имеют приложения в комплексном анализе, теории функций, сохраняющих меру, в теории аппроксимации. Также полученный результат позволит найти радиус Помпейю для совокупности множеств, включающей равнобедренный прямоугольный треугольник.

Список литературы

1. Zalcman L. A bibliographic survey of Pompeiu problem. Approximation by solutions of partial differential equations / L. Zalcman; ed. B. Fuglede et al., 1992. – P. 185–194.

2. Zalzman L. Supplementary bibliography to 'A bibliographic survey of the Pompeiu problem'. In: Radon Transforms and Tomography / L. Zalzman // Contemp. Math. – 2001. – № 278. – P. 69–74.
3. Volchkov V.V. Integral Geometry and Convolution Equations / V.V. Volchkov. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. – 454 p.
4. Volchkov V.V. Harmonic Analysis of Mean Periodic Functions on Symmetric Spaces and the Heisenberg Group / V.V. Volchkov, Vit.V. Volchkov. – London: Springer, 2009. – 671 p.
5. Машаров П.А. Локальный вариант проблемы Помпейю для квадрата в трёхмерном пространстве / П.А. Машаров // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. – 2017. – № 2. – С. 50–60.

УДК 517.5

ПРИМЕНЕНИЕ ОТОБРАЖЕНИЯ ТИПА ГАУССА К ЗАДАЧЕ ВНЕШНЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

Иванов А.Ю., канд. физ.-мат. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
o.ivanov@donnu.ru

Одной из центральных задач комбинаторной геометрии является, так называемая, задача внешнего освещения при помощи параллельных пучков. Данная задача была поставлена В.Г. Болтянским в 1960 г. [1] и заключается в нахождении минимального числа направлений необходимых для освещения границы всего множества. Это наименьшее число для множества $F \subset R^n$ будем обозначать через $c(F)$. Не взирая на относительно большой возраст данной проблемы полученные результаты, на данный момент, носят фрагментарный характер, что делает безусловно актуальным получение новых оценок на число $c(F)$.

В работе [1] удалось связать проблему внешнего освещения с другой известной задачей комбинаторной геометрии — проблемой Борсука о разбиении множества на части меньшего диаметра. Данная взаимосвязь находит свое отражение в следующем утверждении:

Теорема 1. Для любого ограниченного множества $F \subset R^n$ справедливо неравенство $a(F) \leq c(F)$.

Здесь $a(F)$ — минимальное количество частей множества F , диаметр которых строго меньше диаметра самого множества F , необходимых для покрытия всего множества F .

Также следует отметить, что для ограниченных выпуклых множеств $F \subset R^n$ имеющих не более n точек нерегулярности в своей границе значение чисел $a(F)$ и $c(F)$ совпадают [2]: $a(F) = c(F) = n + 1$.

Приведенные выше результаты дали основание рассчитывать на возможность распространения техник применяемых для изучения проблемы Борсука на случай задачи внешнего освещения.

Построим сферическое отображение типа Гаусса $\zeta: S^{n-1} \rightarrow \partial F$, где S^{n-1} – сфера в R^n радиуса 1, F — множество постоянной ширины, следующим образом. Для $\theta \in S^{n-1}$ положим $\zeta(\theta) = x$, где $x, y \in \partial F, |x - y| = \text{diam}F$ и $x - y = \theta \cdot \text{diam}F$.

В работах [3-4] автор при помощи отображения типа Гаусса уточняет класс множеств Борсука. Данные результаты распространяются автором на проблему внешнего освещения:

Теорема 2. Пусть $F \subset R^n$ — множество постоянной ширины. Тогда если существует подпространство U размерности $n-1$ такое, что $\Theta \cap U = \emptyset$, то $c(F) = n+1$.

где Θ — множество прообразов множества точек нерегулярности границы F отображения ζ .

Теорема 3. Пусть $F \subset R^n$ — множество постоянной ширины, L — множество компонент связности Θ . Пусть также выполняются следующие условия:

(i) для любого $U \in L$

$$\sup_{\alpha, \beta \in U} |\alpha - \beta| < \sqrt{2} - \sigma$$

при некотором $\sigma > 0$, не зависящем от U ;

(ii) если $U, V \in L$ и $U \setminus \tilde{V} \neq \emptyset$, и $\tilde{V} \setminus U \neq \emptyset$, где $\tilde{V} = \{-\beta | \beta \in V\}$, то $\text{int}(\tilde{V}) = \emptyset$.

Тогда $c(F) = n+1$.

Теоремы 2, 3 существенно расширяют класс множеств для которых известно точное значение $c(F)$, кроме того данные результаты иллюстрируют распространение техники отображений типа Гаусса на проблему внешнего освещения, что позволяет рассчитывать на уточнение, в дальнейшем, значения числа $c(F)$ для всех множеств F принадлежащих классу множеств Борсука.

Список литературы

1. Болтянский В.Г. Задача об освещении границы выпуклого тела / В.Г. Болтянский // Изв.АН Молд.ССР. – 1960. – Т. 10, № 76. – С. 77-84.
2. Болтянский В.Г. Комбинаторная геометрия различных классов выпуклых множеств / В.Г. Болтянский, П.С. Солтан. – Кишинев: Штиинца. – 1978. – 280 с.
3. Иванов А.Ю. Решение проблемы Борсука для некоторых множеств с нерегулярной границей / А.Ю.Иванов // Труды ИПММ. – 2011. – Т. 23. – С. 110-119.
4. Иванов А.Ю. Новые достаточные условия принадлежности множества классу Борсука / А.Ю. Иванов // Труды ИПММ. – 2012. – Т. 25. – С. 100-106.
5. Иванов А.Ю. Применение отображений типа Гаусса к задаче внешнего освещения / А.Ю. Иванов // Вестник ДонНУ. Серия А. Естественные науки. – 2017. – №. 2. – С. 35-40.

Прикладная математика, прикладная информатика и теория систем управления

УДК 519.24:665.733.5

КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В БЕНЗИНЕ НА ЕГО ПЛОТНОСТЬ

Максимова А.Ю.¹, канд. техн. наук,

Иванова А.А.¹, д-р техн. наук,

Лозинский Н.С.², канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

¹ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, ДНР

maximova.alexandra@mail.ru, ivanova.iamm@mail.ru

²ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко», г. Донецк

lozinsky58@mail.ru

Введение. За последние 20 лет требования к качеству автомобильного бензина существенно ужесточились (табл. 1) [1].

Таблица 1

Требования мировой топливной хартии к качеству бензина (выборочные показатели)

Стандарт	Содержание ароматических углеводородов (AROMA), % об., не более	Содержание бензола (BNZ), %об., не более	Плотность при 15°C (d), кг/м ³
ЕВРО-2	50,0	5,0	715-780
ЕВРО-3	40,0	2,5	715-770
ЕВРО-4	35,0	1,0	715-770

Для соблюдения этих требований и поддержания детонационной стойкости бензина на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) прибегают к использованию алкилатов, изомеризатов и оксигенатов на замену ароматических углеводородов.

Цель. Поскольку для выполнения технологических расчетов, а также повышения эффективности работы узлов компаундирования НПЗ и нефтехимических лабораторий необходимы сведения о зависимостях между параметрами, приведенными в табл. 1, в т.ч. между содержанием ароматических углеводородов (AROMA) и плотностью d [2], настоящая работа посвящена построению корреляционно-регрессионной модели для описания такой зависимости.

Основная часть. Объектом исследования являются заводские автомобильные бензины, отвечающие нормам ЕВРО-2, ЕВРО-3 и ЕВРО-4.

Визуальный анализ корреляционного поля между AROMA и d (рис. 1) и значение коэффициента корреляции 0.91 указывает на существование линейной зависимости между данными параметрами.

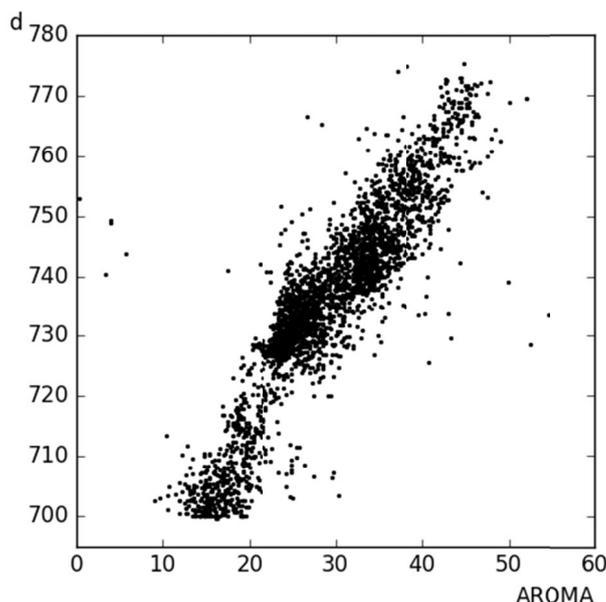


Рис. 1. Корреляционное поле для AROMA и d

Восстановление функциональной зависимости выполнено методом гребневой регрессии [3]. Исходя из того, что ряд показателей бензинов, отвечающих стандартам ЕВРО-2 и ЕВРО-3, с одной стороны, и ЕВРО-3 и ЕВРО-4 с другой, перекрываются, для построения регрессионной модели поступили следующим образом: вначале обрабатывали образцы, отвечающие требованиям ЕВРО-2, потом – ЕВРО-3 и, наконец, – ЕВРО-4.

На рис. 2 приведены регрессионные модели для всей выборки и для групп образцов, соответствующих стандартам ЕВРО-2, ЕВРО-3 и ЕВРО-4. По оси абсцисс отложены значения AROMA, а по оси ординат – плотности d . Цвет точек соответствует содержанию бензола, % об.: белый для бензинов с содержанием менее 1 % об., серый – менее 2.5 % об., а черный – менее 5 % об. Коэффициент детерминации для построенных регрессионных моделей рассчитан на обучающей и тестовой выборках (значения R^2 приведены в табл. 2). Существенная разница между показателем коэффициента детерминации для обучающих и тестовых выборок связана с тем, что общее число примеров мало и среди них встречаются примеры с большой дисперсией. Несмотря на то, что сравнивать данный показатель для разных выборок не принято, принимая во внимание результат визуального анализа функции регрессии, можно сделать вывод, что качество регрессионной модели для бензинов ЕВРО-2 и ЕВРО-3 значительно лучше, чем для бензинов ЕВРО-4. Таким образом, линейная связь существует для бензинов, удовлетворяющих стандартам ЕВРО-2 и ЕВРО-3, а для стандарта ЕВРО-4 при расчете плотности необходимо учитывать другие показатели качества бензина.

Показатели качества построенных регрессионных моделей

Выборка	R^2 на обучении	R^2 на тесте
Все примеры	0.60	0.83
ЕВРО-2	0.58	0.74
ЕВРО-3	0.69	0.73
ЕВРО-4	0.46	0.30

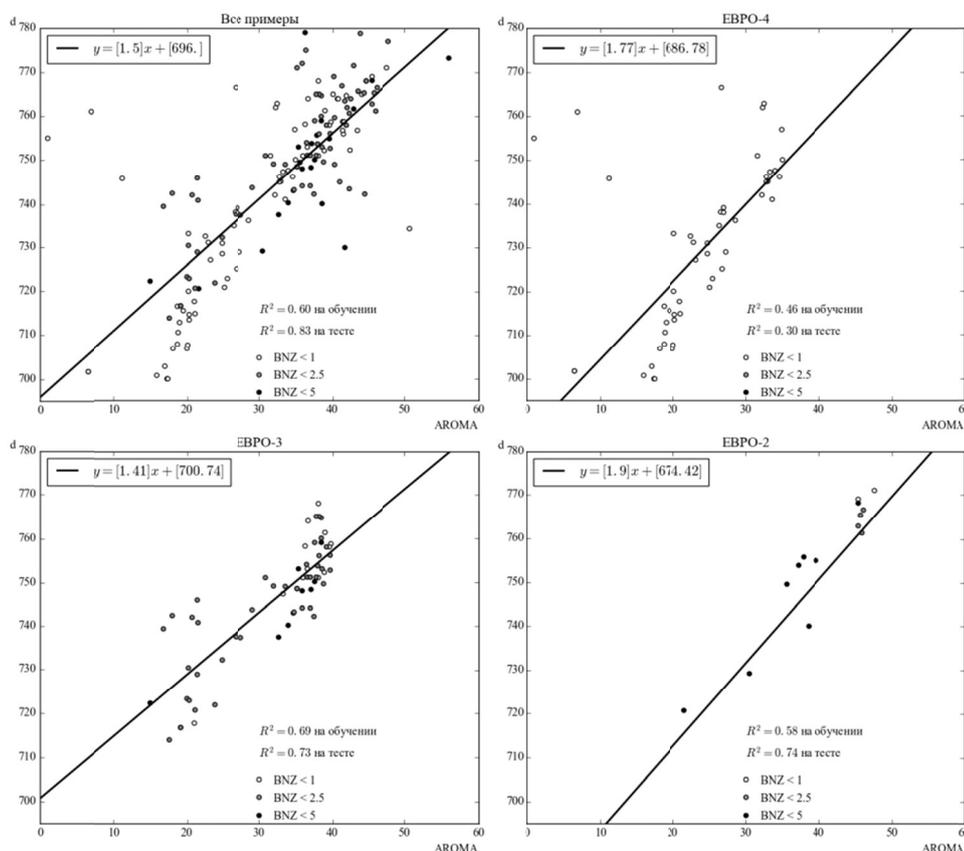


Рис. 2. Восстановленные функции регрессии для а) всей выборки, б) бензинов стандарта ЕВРО-4, в) ЕВРО-3, г) ЕВРО-2

Закключение. Построенная модель подтверждает наличие корреляции между содержанием ароматических углеводородов в бензине и его плотностью. Качество модели снижается в ряду ЕВРО-2>ЕВРО-3>ЕВРО-4. Ухудшение качества модели объясняется тем, что самый тяжелый компонент автомобильного бензина – АРОМА, в бензинах ЕВРО-4 заменен компонентами, плотность которых отвечает и даже ниже минимального значения диапазона этого параметра по требованиям данных стандартов.

Список литературы

1. ГОСТ 32513-2013 Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия [Текст]. – Введ. 2015—01—01. – М.: Стандартинформ. – 2015. – 12 с.
2. Hassan, Al-H.I. Octane index, a feasible performance indicator of motor [Текст] / Al-H.I. Hassan // Pet. Petro. Chem. Eng. J. – 2019. – Vol. 3, Is. 3. – P. 1-7.
3. Стрижов В.В., Крымова Е.А. Методы выбора регрессионных моделей. – М.: ВЦ РАН, 2010. 60 с.

МОДЕЛЬ СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Бельков Д.В., канд. техн. наук, доцент,
Едемская Е.Н.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР
belkovdv@list.ru

Введение. Исследования реального трафика данных в современных вычислительных сетях обнаружили его самоподобные (фрактальные) свойства. Трафик глобальной сети имеет больше всплесков, чем предсказывают Пуассоновские модели. Фрактальный сетевой трафик может приводить к снижению производительности сети, увеличению времени задержки и числа потерянных пакетов.

Важной проблемой является объяснение самоподобной природы трафика. Одна из главных задач исследования сетей – создание адекватной модели трафика. Новые модели самоподобного трафика необходимы, чтобы выявить динамику индивидуальных потоков данных и причины возникновения самоподобных свойств, которые наблюдаются в реальных ситуациях [1].

Цель данной работы – детерминированное моделирование трафика. Задачей работы является построение одномерного дискретного отображения для моделирования трафика. Исследования выполнены в среде Matlab. Изучаемые временные ряды представляют собой измерение джиттера потока ТСП–пакетов объем 512 байта, полученные в университете города Наполи (Италия). Измерения проводились каждые 10 миллисекунд, получено свыше 2000 отсчетов. Отправитель имел 802.11b соединение, получатель –UMTS–доступ, скорость передачи 100 rps [2].

Основная часть. Для моделирования временного ряда трафика предлагается использовать дискретное отображение, построенное на основе отображения «тент» [3] и отображения Заборовского [4].

Отображение «тент» имеет вид: если $x_i = \begin{cases} x_{i-1}/a, 0 < x_{i-1} < a \\ (1-x_{i-1})/(1-a), a < x_{i-1} \leq 1 \end{cases}$, $x_0 = 0.1$.

Отображение Заборовского: $y_i = \frac{y_{i-1}}{b} + \frac{1}{y_{i-1}} - 1$, $y_0 = 1$. Предложенное

отображение имеет вид: $z_i = \frac{y_i^c}{x_i}$. Управляющие параметры a , b , c –

константы. На рис. 1 показана схема моделирования. Необходимо настроить управляющие параметры модели и коэффициенты k_1 , k_2 так, чтобы минимизировать ошибку.

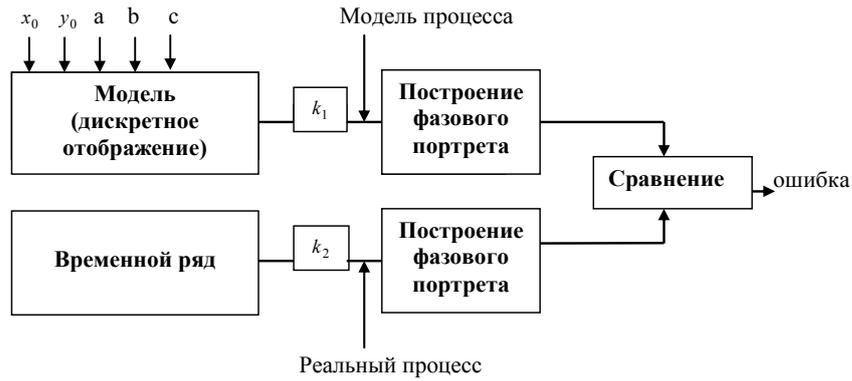


Рис. 1. Схема моделирования

При моделировании временного ряда управляющим параметрам присвоены следующие значения: $x_0 = 0.1$, $y_0 = 1$, $a=0.3$, $b=3.8$, $c=0.5$, $k_1 = 4.5$, $k_2 = 10^4$. На рис. 2–5 показаны результаты моделирования. Подобные траектории на фазовых портретах обозначены одинаковыми цифрами.

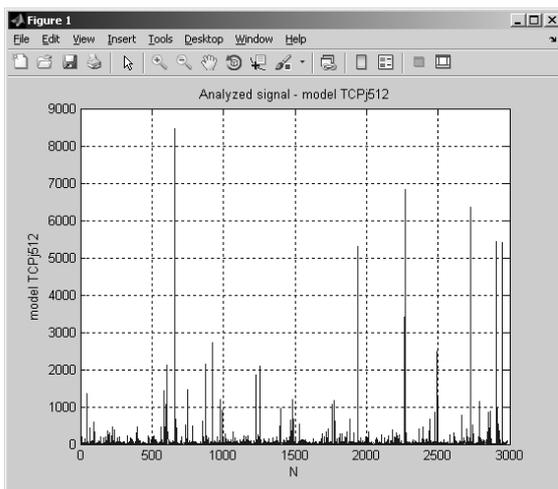


Рис. 2. Модель временного ряда

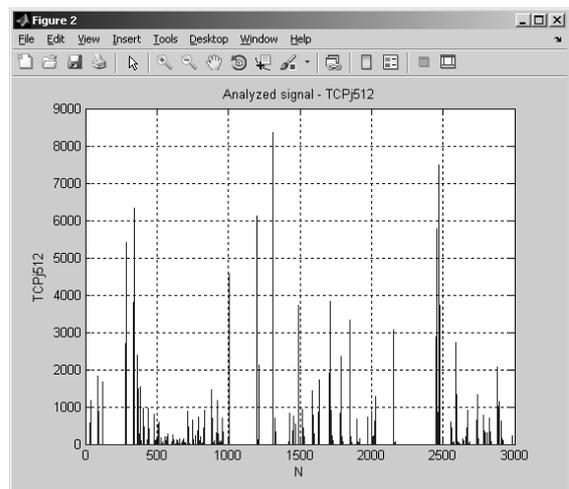


Рис. 3. Временной ряд

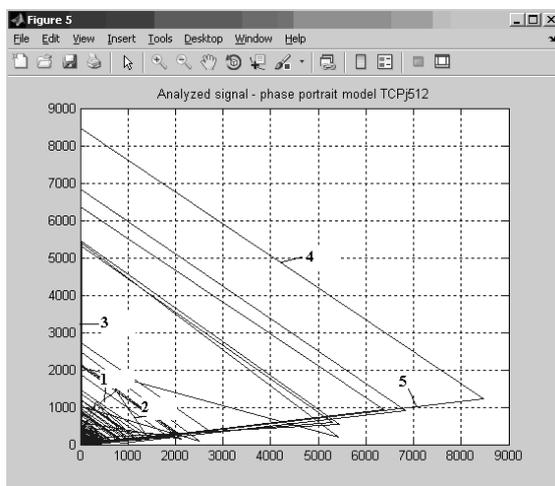


Рис. 4. Фазовый портрет модели

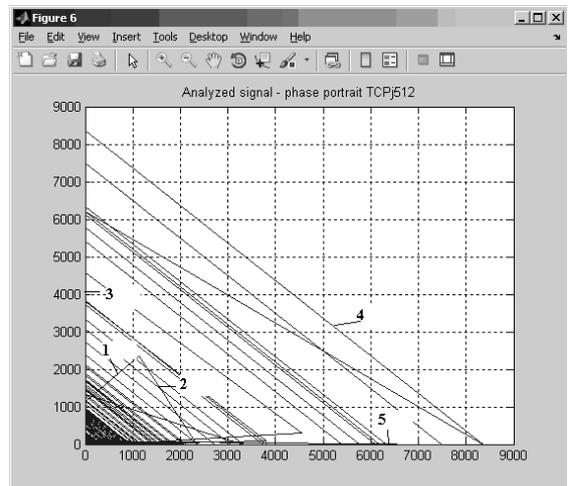


Рис. 5. Фазовый портрет временного ряда

Заключение. В работе предложено дискретное отображение для моделирования сетевого трафика. Выполнено моделирование джиттера потока TCP-пакетов беспроводной сети. Фазовые траектории модели и реального процесса являются однотипными. Предложенное дискретное отображение может использоваться для моделирования пульсирующего фрактального трафика.

Список литературы

1. Petroff V. Self-Similar Network Traffic: From Chaos and Fractals to Forecasting and QoS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pi.314159.ru/petroff5.pdf>
2. Network tools and traffic traces [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.grid.unina.it/Traffic/Traces/ttraces.php>
3. Кузнецов С.П. Динамический хаос / С.П. Кузнецов. – Москва: ДМК, 1995. – 294 с.
4. Заборовский В.С., Куприенко С.В., Шеманин Ю.А. Динамика процессов межсетевое взаимодействия: мультифрактальные модели и методы управления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.npo-rtc.ru/papers/articles/art2003_3.pdf

УДК 004.932.2

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА АВТОМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАЗОВ РАСТРОВЫХ ЦИФРОВЫХ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ДИСКРЕТНОМ МНОЖЕСТВЕ АТОМАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Шевцов Д.В., канд. техн. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
d.shevtsov@donnu.ru

Введение. Как отмечено в [1, 2], система обработки, анализа и именования образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, заданных в терминах дискретного множества атомарных элементов, предполагает разработку и реализацию метода автоматического моделирования GT-объектов, представленных совокупностью кратчайших путей. Искомый метод базируется на гипотезе о способе формирования исходного изображения [2], и не предполагает априорного задания множеств производных элементов, примитивов, значащих свойств, мер близости и пороговых значений либо интервалов, равно как и самого множества моделируемых и именуемых объектов. В основе метода лежит подход, предполагающий автоматическое выявление на образе бинарного растрового цифрового изображения (РЦИ) знака фрагментов, характеризуемых сохранением локально-глобального

направления движения [2]. Формирование модели осуществляется вследствие размещения на GT-объекте структурированных множеств атомарных элементов – элементов покрытия, с последующим определением их качественных относительных характеристик.

Цель работы. Так как формирование изображения, подлежащего автоматическому анализу и распознаванию, играет ключевую роль в процессе моделирования и именования образов бинарных РЦИ, рассматриваются элементы гипотезы о способе формировании изображений, что позволит аналитически обосновать метод автоматического моделирования образов изображений на дискретном множестве атомарных элементов.

Основная часть. В соответствии с [2], «каждому поступающему концепту $K_i (i=1,2,\dots)$, именуемому как O_i , подлежащему генерации и регистрации, взаимно однозначно сопоставимо множество моделей $M_i = \{M_1^i, M_2^i, \dots\}$ », где каждая модель – это конечное упорядоченное множество непрерывных кривых без самопересечений, заданных на подпространстве из пространства E_2 . При этом полагается, что процессу регистрации изображения предшествует процесс его генерации, реализуемый устройством управления (УУ) регистрирующего устройства вследствие декодирования управляющего воздействия на устройство фиксации следа. В соответствии с исходной моделью, устройство управления генерирует упорядоченное множество траекторий движения устройства фиксации следа (УФС). Каждая из генерируемых траекторий также представляет собой непрерывную кривую, взаимно однозначно соответствующую некоторой кривой исходной модели, и характеризуется, в частности, локально-глобальными направлениями движения (ЛГН) [2].

Регистрирующая часть УФС при соприкосновении с плоскостью (поверхностью) регистрации изображения фиксирует след движения в локально-глобальном направлении, который становится изображением или его фрагментом [2].

В соответствии с траекториями, устройство декодирования генерирует управляющие воздействия, изменяя и корректируя ЛГН движений, под действием которых регистрирующая часть УФС изменяет свое положение и площадь соприкосновения с поверхностью) регистрации изображения, при этом на ПРИ отображается множество следов реализации каждой траектории, соответствующих фрагментам кривых исходной модели.

Из приведенных рассуждений следует, что результирующее процесс генерации изображение взаимно однозначно сопоставимо с множеством траекторий движения УФС, каждое из которых, как отмечено ранее, определяется совокупностью локально-глобальных направлений.

Таким образом, при анализе образов бинарных РЦИ на множестве атомарных элементов целесообразно осуществлять выявление таких фрагментов D -знаков, каждый из которых характеризуется сохранением

ЛГН движения УФС, реализованного в процессе формирования исходного изображения. Совокупность указанных фрагментов, в силу взаимно однозначного соответствия начальной модели изображения как множества непрерывных кривых, является основой для автоматического моделирования GT-объекта с целью его последующего именованя.

Однако, на практике присутствуют случаи, когда УУ или УФС функционирует так, что зафиксированное множество следов траекторий движений не вполне соответствует исходной модели по причине нарушения последовательности ЛГН, например, в процессе декодирования [2], либо содержит фрагменты, не являющиеся значимыми с точки зрения последующего анализа и именованя. Вследствие этого, фрагменты, выявленные в процессе сегментации или моделирования, могут существенно отличаться от содержимого словаря непроеизводных элементов [3] или заданного набора эталонов.

В таком случае решение задачи автоматического анализа, моделирования и последующего именованя значительно усложняется, а иногда и вовсе не представляется возможным [4]. С целью решения данной проблемы в [5] предложен способ выявления фрагментов изображений, образы которых на множестве атомарных элементов характеризуются сохранением ЛГН, лишенный описанных недостатков.

В соответствии с гипотезой о формировании изображений [2], элементы которой описаны выше, предложено конструктивное определение элемента представления, позволяющего выявлять указанные фрагменты образов изображений, характеризуемые сохранением локально-глобального направления движения, позволяя абстрагироваться при этом от локальных изменений (нарушений) движения УФС в процессе генерации изображения – прообраза знака. Применение такого подхода предоставило возможность учитывать множественные вариативности, возникающие в процессе формирования изображения, а также увеличить учет инвариантности в начертании знаков произвольной природы и открытых алфавитов, которые относятся к одному классу [1]. Данный подход характеризуется, в частности, фиксированными положением и размером сектора элемента представления, что затрудняет его прикладное использование. Кроме того, правила размещения элементов представления на знаке не были формализованы, что не позволило достаточно эффективно применить предложенный подход на практике.

Заключение. Для выявления на GT-объектах фрагментов путей, характеризуемых сохранением ЛГН, с целью последующего формирования моделей образов бинарных РЦИ определен элемент покрытия как модифицированный аналог элемента представления, введены правила его размещения на образах бинарных РЦИ в терминах множества атомарных элементов, сформулированы понятие покрытия *D*-знака и проанализированы его структура и свойства. Это позволит формализовать

и определить модель произвольного GT-объекта как инструментарий для анализа и именования изображений знаков открытых алфавитов.

Список литературы

1. Шевцов Д.В. Системы распознавания изображений как средство автоматизации процессов документооборота / Д.В. Шевцов // Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПИИВС-2018): сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, 14-18 ноября 2018 г. – Том. 1. – Донецк, ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2018. – С. 185-193.
2. Мельник А.-В.В. Разработка системы автоматической скелетизации бинарных изображений // Вестник ХНТУ. – Херсон: ХНТУ. – 2009. – № 1(34). – С. 225-230.
3. Фу К. Структурные методы в распознавании образов: пер. с англ. / К. Фу. – М.: Мир, 1977. – 320 с.
4. Вайсруб Н.В. Система автоматического моделирования бинарных изображений, сформированных отрезками прямых / Н.В. Вайсруб // Проблемы информационных технологий. – Херсон: ХНТУ, 2009. – № 1 (34). – С. 453-459.
5. Шевцов Д.В. Обоснование перспективных направлений при проектировании систем автоматизированной обработки видеoinформации // Вестник ХНТУ / Д.В. Шевцов – Херсон: ХНТУ, 2009 г. – № 1 (34). – С. 231-240.

УДК 57.087.1

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Бородай А.Р., Блохин С.В.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
s.blokhin@donnu.ru

Введение. За последние 25 лет биометрия успела перерасти из жанра научной фантастики в повседневную жизнь. Слово «биометрия» имеет свое происхождение от двух греческих слов: «bios» – жизнь и «metria» – измерение. Биометрия дает возможность идентифицировать и аутентифицировать личность на основе набора данных, являющимися уникальными для каждого человека. Биометрическая идентификация – это процесс, измерения указанных особенностей с помощью автоматических систем. Биометрическая аутентификация – процесс сравнения данных о характеристиках человека с его биометрическим «шаблоном» для установления подлинности. Работа посвящена исследованию и анализу методов биометрической идентификации

Цель работы заключается в анализе основной задачи при установлении безопасности – обеспечении того, чтобы доступ к любому объекту или информации осуществлялся только уполномоченными лицами, а также методов решения указанной задачи с целью их усовершенствования.

Основная часть. Биометрическая идентификация является одной из фундаментальных социальных функций: мы делаем это каждый день с самого рождения. Ребенок сначала учится распознавать голос и лицо своих родителей, а затем родственников, одноклассников, друзей. Однако технический прогресс сделал возможным создание автоматизированных биометрических систем идентификации только в последние несколько десятилетий. Все эти решения могут быть прослежены до методов, использовавшихся за тысячи лет до нашего времени.

Будущее однозначно указывает на направление автоматизированной биометрической идентификации, поскольку это единственный метод, при котором может быть обеспечена идентификация фактического авторизованного пользователя.

В настоящее время в ряде областей существует острая потребность в системах идентификации личности, которые работают с высокой точностью. Одним из методов для этого является биометрическая идентификация, где исследуются уникальные особенности, которые более или менее не поддаются изменению и не поддаются проверке. Хотя и эти технологии не лишены недостатков, но являются более надежными и безопасными по сравнению с технологиями на основе знаний или собственности.

Методы биометрической идентификации могут быть классифицированы и сопоставлены по нескольким характеристикам: 1) FAR (False Acceptance Rate) – вероятность ложного совпадения биометрических характеристик двух людей; 2) FRR (False Rejection Rate) – вероятность отказа доступа человеку, имеющего допуск; 3) FTE (Failure to enroll) – показывает количество людей, которые не могут быть зарегистрированы в системе и, следовательно, не могут ее использовать; 4) риск подделки – показывает, насколько легко можно обойти систему каким-либо методом (например, вместо фактического отпечатка пальца, показывая только его фотографию на оптический сканер отпечатков пальцев); 5) стабильность биометрического образца – показывает, изменяется ли образец со временем и могут ли на него влиять какие-либо внешние факторы; 6) недостатки – любые недостатки, которые могут возникнуть во время использования системы, а также оказать негативное влияние на ее работу.

В табл. 1 представлены количественные характеристики основных методов биометрической идентификации.

Таблица 1

Сравнение методов биометрической идентификации

Метод биометрической идентификации	FAR, %	FRR, %	FTE, %	Риск подделки	Стабильность биометрического образца	Недостатки
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Сканирование радужной оболочки глаза	10^{-7}	10^{-4}	1	очень низкий	не изменяется	некоторые люди не могут использовать его

1	2	3	4	5	6	7
Распознавание лиц	10^{-2}	10^{-2}	1	средний	часто изменяется	не везде может использоваться, очень уязвима
Сканер отпечатков пальцев						
Оптический датчик	10^{-2}	10^{-2}	1-3	очень высокий	изменяется редко	не везде может использоваться, очень уязвима
Емкостный датчик	10^{-2}	10^{-2}	1-3	очень высокий	изменяется редко	не везде может использоваться, очень уязвима
Сенсорный датчик	10^{-2}	10^{-2}	1-3	высокий	изменяется редко	не везде может использоваться, очень уязвима
Многоспектральное устройство	10^{-5}	10^{-3}	10^{-1}	очень низкий	не изменяется	недостаточно исследовано
Распознавание голоса	10^{-2}	10^{-2}	1-3	высокий	часто изменяется	не везде может использоваться, очень уязвима
Сканер сетчатки глаза	10^{-5}	10^{-2}	–	очень низкий	изменяется очень редко	сложная оптическая система
Распознавание рисунка вен ладони	10^{-5}	10^{-2}	1	очень низкий	не изменяется	недостаточно исследовано
Распознавание рисунка вен пальца	10^{-2}	10^{-2}	1	средний	не изменяется	некоторые люди не могут использовать его
Распознавание геометрии руки	10^{-2}	10^{-2}	0,10	средний	изменяется редко	уязвимая технология

Заключение. Изучив и оценив развертывание более 100 систем биометрической идентификации с 1998 года, можно предположить, что, как правило, фактор удачи решал, работает ли система в конкретной ситуации. Основная проблема заключается в том, что в области систем идентификации личности биометрия является первой технологией, которая работает с вероятностями. Идентификация человека со 100% уверенностью в биометрии практически невозможна. Еще одна проблема заключается в том, что факторы окружающей среды также должны быть приняты во внимание, поскольку они влияют на показатели успеха. Эти проблемы приводят к другой: при развертывании биометрической системы в проекте безопасности, выбор делается исключительно на субъективной основе.

Список литературы

1. ABI – Applied Biometrics Institute. www.abibiometrics.org (Óbuda University, Donát Bánki Faculty, 2011)

2. ISO. ISO/IEC 19795-6. Information technology - Biometric performance testing and reporting. Switzerland, 2012. ISO/IEC 19795-6:2012.
3. Tibor, Prof. Dr. Kovács. Basics of Biometrics. 2010.
4. Krisztina FÖLDESI, Tibor KOVÁCS, SPECIFICATION IN THE PRACTICE OF LAW ENFORCEMENT (APPLICATION OF BIOMETRY). ACTA TECHNICA CORVINIENSIS – BULLETIN of ENGINEERING. 2015
5. Zoltan Rajnai: Un portrait militaire au reflet de l'insurrection hongroise ORIENTS (ISSN: 1769-6321) 2013: (10) P. 93-96. (2013)
6. Csaba Otti. Comparison of hand geometry and fingerprint based identification. 2015.

УДК 004.932.2

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА АДАПТИВНОЙ БИНАРИЗАЦИИ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СКАНИРОВАННЫХ ДОКУМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

Шевцов Д.В., канд. техн. наук, доцент,
Шевцова Е.В.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
d.shevtsov@donnu.ru, shelenav@yandex.ru

Введение. Согласно [1], информационные технологии автоматического моделирования, распознавания и именования растровых цифровых изображений (РЦИ) знаков открытых алфавитов должны быть безотносительны к типам обрабатываемых документов ЭИР, на начальном этапе формирования РЦИ периферийными средствами ввода информации в ЦЭВМ должны быть осуществлены этапы сканирования и предварительной обработки полученных результатов.

Цель работы. Поскольку обработке подлежат бинарные растровые цифровые изображения, для выбора информационной технологии предварительной обработки сканированных документов электронных информационных ресурсов (ЭИР) поведен обзор и анализ наиболее востребованных современных методов и алгоритмов бинаризации с целью определения метода, позволяющего наиболее качественно представлять изображения знаков открытых алфавитов, подлежащие распознаванию на множестве атомарных элементов.

Основная часть. Под бинаризацией подразумевают, как правило, «выделение границы объекта, содержащей исчерпывающую информацию о его форме, для последующего ее анализа и решения задач обработки и анализа» [2]. При этом существует множество способов представления границ формируемых объектов, и выбор того или иного способа бинаризации может зависеть от предметной области, либо прикладной специфики решаемой исследователями задачи [1–3].

Результат бинаризации традиционно передается в виде двумерной матрицы с размерами исходного цифрового изображения, где в качестве элементов матрицы выступают логические значения «1» или «0», с учетом соответствия «1» – граница объекта, «0» – прочая область. Таким образом, задача бинаризации может быть сведена к преобразованию цветного, включая градации серого, растрового изображения в монохромное (1-битное) изображение. Очевидно, выбор алгоритма бинаризации имеет значительную важность при решении задач автоматического анализа РЦИ, поскольку обычно только результаты работы метода бинаризации используются в алгоритмах распознавания. Выбор алгоритма бинаризации также влияет на алгоритмы, применяемые далее для анализа изображения. Успешный выбор алгоритма бинаризации позволит более эффективно выявлять GT-объекты обрабатываемых РЦИ знаков открытых алфавитов и, как следствие, сделает процессы моделирования и именования более точными в смысле соответствия полученных результатов ожидаемым.

Изучены следующие современные алгоритмы бинаризации как наиболее подходящие применительно к задаче распознавания сканированных документов ЭИР [1]: 1) Sauvola, 2) Otsu, 3) Bernsen, 4) Eikvil, 5) Niblack, 6) Gatos Thresholding, 7) отсечение по порогу яркости, 8) максимальной энтропии, 9) адаптивной бинаризации.

Проведенный анализ перечисленных методов показал, что этап бинаризации тесно связан с последующими этапами анализа цифрового изображения, применяемыми при моделировании и распознавании объектов, при этом с практической точки зрения качество работы метода оценивается, исходя из последующих этапов обработки РЦИ.

Достаточно сложно сравнивать непосредственно результат работы алгоритмов бинаризации по данным анализа РЦИ целым комплексом алгоритмов, в которых применяются рассмотренные методы. Один из подходов, используемых при сравнении результата работы таких типов алгоритмов, был взят на вооружение в работах [2, 3] и основывался на бинарном сравнении работы метода с эталонным результатом, использующим понятие F-меры (F-measure) [4] как определенный аналог расстояния Левенштейна [5], применяемого при анализе печатного текста.

В соответствии с этим, для сравнения результатов использования описанных ранее методов выбран параметр сбалансированной F-меры [4], значения которого представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, наибольшим значением параметра сбалансированной F-меры характеризуется метод адаптивной бинаризации, для которого указанная величина равна 0,4674. Данный факт обуславливает целесообразность выбора указанного метода в качестве информационной технологии обработки РЦИ документов ЭИР на начальном этапе их автоматического анализа и последующего моделирования.

Таблица 1

Результаты апробации методов бинаризации

Название метода	Параметр сбалансированной F-меры
Sauvola	0,2547
Otsu	0,3105
Bernsen	0,3232
Eikvil	0,2746
Niblack	0,2306
Gatos Thresholding	0,2353
Отсечение по порогу яркости	0,2173
Максимальной энтропии	0,1346
Метод адаптивной бинаризации	0,4674

Дополнительная обработка в виде фильтрации полученных результатов бинаризации не проводилась, поскольку сравнивались сами алгоритмы бинаризации, а дополнительная фильтрация не являлась их частью и могла внести искажение в результат его работы. К тому же, подбор алгоритмов фильтрации определяется в зависимости от решаемой прикладной задачи и самого алгоритма бинаризации, что существенно влияет на конечный результат.

Стоит отметить немаловажную особенность работы алгоритмов бинаризации, а именно плотность точек границы объектов, полученных в процессе бинаризации и сформированных как элементы границы в последующих алгоритмах, поскольку не у всех алгоритмов потенциальная граница объектов получалась непрерывной. Это также накладывает ограничения на применение алгоритмов распознавания и именования.

Заключение. Алгоритм адаптивной бинаризации позволяет достоверно выделять границы объектов при условии, что часть границы может быть размыта и находится вне фокуса [2, 3]. Алгоритм исследован на реальных цифровых изображениях сканированных документов ЭИР, и его достоинством является высокая точность выделения границ объектов при невысокой математической сложности алгоритма и низкой чувствительности к шумам по сравнению с иными рассмотренными методами бинаризации РЦИ.

Список литературы

1. Шевцов Д.В. Системы распознавания изображений как средство автоматизации процессов документооборота / Д.В. Шевцов // Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПНИВС-2018): сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, 14-18 ноября 2018 г. – Том. 1. – Донецк, ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2018. – С. 185-193.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Д. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

3. Вдовин В.А. Метод адаптивной бинаризации растрового изображения / В.А. Вдовин, А.В. Муравьев, А.А. Певзнер // Ярославский педагогический вестник. – 2012. – № 4. – Том III. – С. 65–69.
4. Sasaki Y. The truth of the F-measure, School of Computer Science, University of Manchester M13, 131 Princess Street, Manchester, M1 7DN. Version: 26th October, 2007.
5. Levenshtein V.I.: Binary codes capable of correcting deletions, insertions and reversals. Sov. Phys. Dokl., 6 (1966) – P. 707-710.

УДК 004.891

РАЗРАБОТКА БАЗОВЫХ СТРУКТУР СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ПРИНЦИПАХ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НЕСКОЛЬКИХ АРГУМЕНТОВ

Тарасова И.А.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР
irina_tarasova@i.ua

Введение. Исследование методов нечеткого вывода, среди которых можно выделить алгоритмы Мамдани, Сугено, иерархический нечеткий вывод, показало, что их недостатком является использование в качестве термов нечетких переменных с функциями принадлежности одного аргумента, что приводит к потере взаимосвязи между величинами. Применение таких алгоритмов для моделирования объектов со сложной структурой переменных в иерархических системах нечеткого вывода вызывает определенную размытость при переходе между уровнями иерархии, которая может привести к потере значимости результата.

Существующие способы построения функций принадлежности существенно зависят от экспертного мнения. Методы задания вида многомерных функций принадлежности в настоящее время недостаточно разработаны, позволяют строить функции принадлежности заранее известного вида и не обеспечивают задания областей определения произвольной формы. Использование нейронных сетей исключает возможность выделить функцию принадлежности и базу правил, а также функции, описывающие консеквенты каждого правила.

Одним из путей решения данной проблемы является использование термов лингвистических переменных с функциями принадлежности нескольких аргументов [1-5]. Однако представление структур системы поддержки принятия решений, позволяющих хранить такие данные, в настоящее время отсутствует, что говорит об актуальности исследований в данной области.

Целью данной работы является повышение эффективности управления плохо формализуемыми объектами за счет разработки базовых структур

системы поддержки принятия решений на принципах нечеткой логики с использованием функций принадлежности нескольких аргументов.

Основная часть. Обобщенная структура системы поддержки принятия решений (СППР) на принципах нечеткой логики с использованием термов с функциями принадлежности нескольких аргументов (ФПНА) представлена на рис. 1, на котором введены следующие обозначения: 1 – ретроспективные данные; 2 – таблично заданные ФПНА термов лингвистических переменных; 3 – множества входных и выходных лингвистических переменных с таблично заданными ФПНА термов; 4 – множества входных и выходных лингвистических переменных с аналитически заданными ФПНА термов (при необходимости); 5 – множество правил нечетких продукций P ; 6 – измеренные характеристики объекта управления; 7 – характеристики текущего состояния объекта; 8 – характеристики текущего состояния объекта и принятое решение по управлению; 9 – значения управляющих переменных.

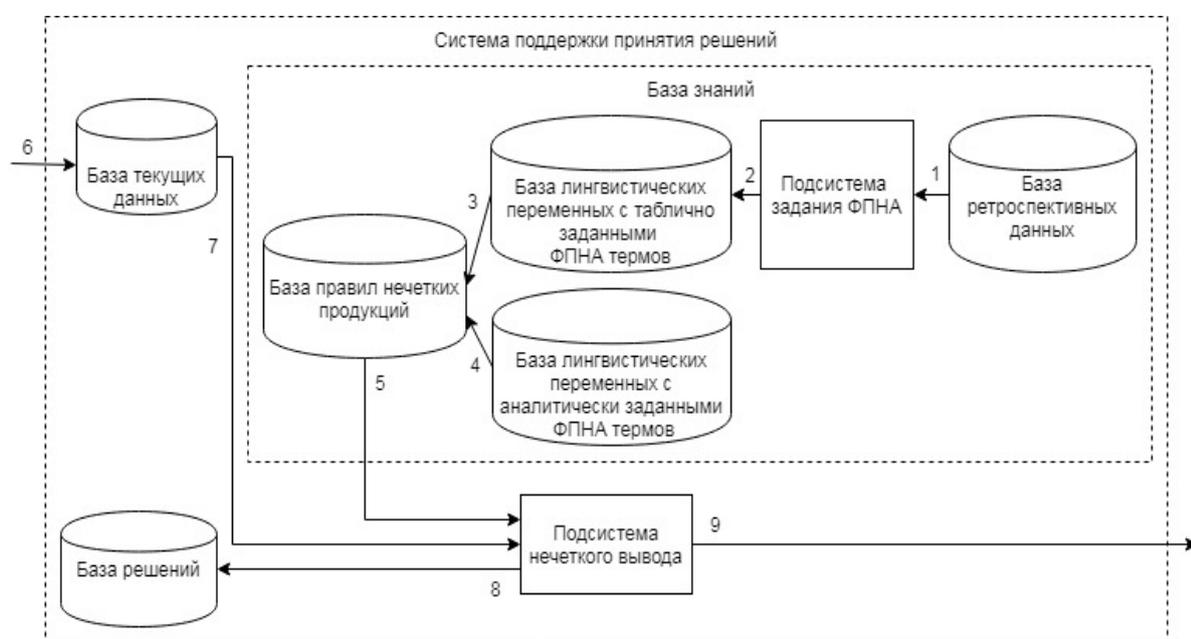


Рис. 1. Обобщенная структура СППР

Как следует из рис. 1, база знаний включает в себя базу правил нечетких продукций, базу лингвистических переменных с аналитически заданными ФПНА термов, которая заполняется в случае, если функции принадлежности заранее известны и могут быть представлены в аналитическом виде, и базу лингвистических переменных с таблично заданными ФПНА термов, определение которых выполняется с помощью метода задания ФПНА на основе нечеткой кластеризации ретроспективных данных о поведении объекта моделирования [6–8].

Текущие данные, содержащие информацию с датчиков о текущем состоянии объекта управления, занесены в базу текущих данных. Подсистема нечеткого вывода на основе полученных текущих данных, используя базу знаний, формирует решение по управлению. Решение

передается принимающему решение лицу, после чего данные записываются в базу данных принятых решений.

Заключение. В данной работе рассмотрена задача повышения эффективности нечеткого управления плохо формализуемыми объектами с нелинейными ограничениями на управляющие переменные.

Для технической реализации нечеткого управления на основе модели с использованием термов лингвистических переменных с функциями принадлежности нескольких аргументов, разработаны базовые структуры системы поддержки принятия решений. Их использование позволяет ускорить разработку систем поддержки принятия решений для различных предметных областей.

Список литературы

1. Шушура А.Н. Метод нечеткого управления на основе переменных с многомерными функциями принадлежности / А.Н. Шушура, И.А. Тарасова // Искусственный интеллект. – 2010. – №1. – С. 122-128.
2. Тарасова И.А. Нечеткое управление на основе переменных с многомерными функциями принадлежности в диагностике и лечении гипертензивных осложнений беременности // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2012. – № 4. – С. 169-173.
3. Тарасова И.А. Синтез структуры и алгоритмов системы нечеткого управления с использованием функций принадлежности нескольких аргументов / А.Н. Шушура, И.А. Тарасова // *Universum: Технические науки: электрон. научн. журн.* – Москва: Общество с ограниченной ответственностью Международный центр науки и образования. – 2014. – № 4 (5). – URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/1259>
4. Тарасова И. А. Принципы построения и архитектура базы знаний системы нечеткого управления на основе многомерных функций принадлежности / И. А. Тарасова // Вестник Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского. – 2013. – № 2 (79). – С. 56-61.
5. Тарасова И.А. Разработка базовых структур системы искусственного интеллекта для реализации нечеткого управления с использованием функции принадлежности нескольких аргументов / Тарасова И.А. // Информатика и кибернетика. – 2016. – №1(3). – С. 198–202.
6. Шушура А. Н. Способ задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных / Шушура А. Н., Тарасова И. А. // Международный научно-технический журнал “Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія”. – 2013. – № 1(26). – С. 39-44.
7. Тарасова И. А. Разработка подходов к заданию многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных в задачах нечеткого управления // Электронный научный журнал "Отраслевые аспекты технических наук". – 2014. – Выпуск 2(38) Март-Апрель. – С. 11-22. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.branch-aspects-of-technical-sciences.ingnpublishing.com/archive/2014/vypusk_2_38_mart-aprel_release_2_38_march-april/tarasova_i_a_razrabotka_podhodov_k_zadaniyu_mnogomernyh_funkcij_prinadlezhnosti_termov_lingvisticheskikh_perem
8. Тарасова И.А. Разработка алгоритма задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных на основе статистических данных // Проблемы искусственного интеллекта. – 2018. – № 2 (9). – С. 60-70.

ФИЛЬТРАЦИЯ И СКРЕМБЛИРОВАНИЕ ЗВУКОВОГО СИГНАЛА

Канделаки К.С., Рыбалко Л.А., доцент

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

K.kandelaky97@gmail.com

Введение. В работе рассматриваются общие методы обеспечения скремблированной связи, производятся сравнения цифровых и аналоговых способов закрытия каналов. Статья содержит две части: в первой части рассматривается цифровая фильтрация данных (сигналов). Во второй части рассматриваются общие методы цифрового и аналогового скремблирования

Цель работы заключается в выявлении оптимальных способов построения скремблирующей системы для обеспечения защищенной передачи голосовой информации (данных).

Основная часть. *Цифровая фильтрация.* Предмет цифровой фильтрации данных (сигналов) является естественным введением в широкую и фундаментальную область цифровой обработки информации. Под фильтрацией будем понимать любое преобразование информации (сигналов, результатов наблюдений), при котором во входной последовательности обрабатываемых данных целенаправленно изменяются определенные соотношения (динамические или частотные) между различными компонентами этих данных.

К основным операциям фильтрации информации относят операции сглаживания, прогнозирования, дифференцирования, интегрирования и разделения сигналов, а также выделение информационных (полезных) сигналов и подавление шумов (помех).

Как известно, преобразование динамики сигналов (и данных, которые несут эти сигналы) осуществляется в системах. Соответственно, фильтры с любым целевым назначением являются частным случаем систем преобразования сигналов, в рамках теории которых они и будут рассматриваться.

Под фильтрацией понимается линейная обработка данных (носителей этих данных – сигналов) линейными дискретными системами. Линейными называют системы, которые осуществляют преобразование линейных комбинаций входных сигналов в суперпозицию выходных сигналов. Принцип реализации линейных систем, физический – в виде специальных микропроцессорных устройств, или алгоритмический – в виде программ на ЭВМ, существенного значения не имеет и определяет только способы их реализации.

Рассмотрим способы построения скремблирующей системы для обеспечения защищенной передачи голосовых данных.

Скремблирование (англ. scramble — перемешивать) — разновидность кодирования информации, для передачи по каналам связи и хранения, улучшающая спектральные и статистические характеристики. Также под скремблированием понимается изменение характеристик речевого сигнала, таким образом, что полученный модулированный сигнал, обладая свойствами неразборчивости и неузнаваемости, занимает ту же полосу частот, что и исходный сигнал.

В речевых системах связи известно два основных метода сокрытия сигналов, различающихся по способу передачи по каналам связи: аналоговое скремблирование и дискретизация сообщений с последующим шифрованием.

Аналоговые скремблеры подразделяются на:

- речевые скремблеры простейших типов на базе временных и (или) частотных перестановок речевого сигнала;
- комбинированные речевые скремблеры на основе частотно-временных перестановок отрезков речи, представленных дискретными отсчетами, с применением цифровой обработки сигналов.

При частотных преобразованиях сигнала в средствах подвижной радиосвязи чаще всего используются следующие виды скремблирования:

- частотная инверсия сигнала (преобразование спектра сигнала с помощью гетеродина и фильтра);
- разбиение полосы частот речевого сигнала на несколько поддиапазонов и частотная инверсия спектра в каждом относительно средней частоты поддиапазона;
- разбиение полосы частоты речевого сигнала на несколько поддиапазонов и их частотные перестановки.

При временных преобразованиях производится разбиение сигнала на речевые сегменты и их перестановки во времени. При этом, в основном, используются два способа закрытия:

- инверсия по времени сегментов речи;
- временные перестановки сегментов речевого сигнала.

Простейшим видом временного преобразования является временная инверсия, при которой исходный сигнал делится на последовательность временных сегментов и каждый из них передается инверсно во времени - с конца к началу.

В скремблере с временными перестановками речевой сигнал делится на временные кадры, каждый из которых в свою очередь подразделяется на сегменты, а затем сегменты речевого сигнала подвергаются перестановке. Принцип работы такого скремблера с фиксированным окном и числом временных сегментов в кадре, равном 6.

Дискретизация сигнала с последующим шифрованием (цифровое скремблирование). Альтернативным аналоговому скремблированию методом передачи речи в закрытом виде является шифрование речевых

сигналов, преобразованных в цифровую форму, перед их передачей. Этот метод обеспечивает более высокий уровень закрытия по сравнению с описанными выше аналоговыми методами.

В основе устройств, работающих по такому принципу, лежит представление речевого сигнала в виде цифровой последовательности, закрываемой по одному из криптографических алгоритмов. Передача данных, представляющих дискретизированные отсчеты речевого сигнала или его параметры, по телефонным сетям, как и в случае устройств шифрования алфавитно-цифровой и графической информации, осуществляется через устройства, называемые модемами.

Основной целью при разработке устройств цифрового закрытия речи является сохранение тех ее характеристик, которые наиболее важны для восприятия слушателем. Одним из путей является сохранение формы речевого сигнала. Это направление применяется в широкополосных цифровых системах закрытия речи. Однако использование свойств избыточности информации, содержащейся в человеческой речи, более эффективно. Данное направление разрабатывается в цифровых системах закрытия речи.

Заключение. В ходе работы установлено, что для построения системы защищенной передачи голосовой информации (данных) целесообразно использовать цифровые программные методы фильтрации и скремблирования с учетом современного состояния электроники. Это обеспечит наиболее надежные, защищенные, экономичные и масштабируемые решения.

Список литературы

1. Алферов А. П., Зубов А. Ю., Кузьмин А. С., Черемушкин А. В. Основы криптографии.. — Гелиос АРВ, 2002. — 480 с.
2. Кодзасов С. В., Кривнова О. Ф. Общая фонетика / РГГУ. — М., 2001.
3. Национальная библиотека им. Н. Э. Баумана Bauman National Library статья “Методы и средства сокрытия данных путем скремблирования”

УДК 534.44

ОБ АНАЛИЗЕ РЕАЛЬНЫХ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

Блохин С.В., Месропян А.Г.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
Davidoff_14@mail.ru

Введение. В настоящее время обработка звукового сигнала занимают множество специалистов: инженеры, звукорежиссеры,

звукооператоры, музыканты. Все они преследуют цель синтеза звукового сигнала и (или) изменения параметров звукового сигнала для выполнения инженерных (например, применение кодеков для сжатия звуковых сигналов) и художественных (например, улучшение звучания композиции путем тщательной настройки отдельных частот) задач. Одним из методов достижения вышеперечисленных целей является преобразование Фурье [1].

Преобразование Фурье (ПФ) вычисляется всякий раз, когда мы слышим звук. Ухо автоматически выполняет вычисление, проделать которое наш сознательный ум способен лишь после нескольких лет обучения математике. Наш орган слуха строит преобразование, представляя звук — колебательное движение частиц упругой среды, распространяющееся в виде волн в газообразной, жидкой или твёрдой средах — в виде спектра последовательных значений громкости для тонов различной высоты. Мозг превращает эту информацию в воспринимаемый звук.

ПФ — это функция, описывающая амплитуду и фазу каждой синусоиды, соответствующей определённой частоте (амплитуда представляет высоту кривой, а фаза — начальную точку синусоиды.)

ПФ стало мощным инструментом, применяемым в различных научных областях. В некоторых случаях его можно использовать как средство решения сложных уравнений, описывающих динамические процессы, которые возникают под воздействием электрической, тепловой или световой энергии. В других случаях оно позволяет выделять регулярные составляющие в сложном колебательном сигнале, благодаря чему можно правильно интерпретировать экспериментальные наблюдения в астрономии, медицине и химии [2].

Целью настоящего исследования послужило: проведение сравнительного анализа и выявление различий в производительности двух методов представления реальных сигналов в спектральной области, а именно дискретного преобразования Фурье (ДПФ) и его модификации — быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Для исследования используются следующие **методы**: общенаучные — анализ, синтез, индукция, дедукция. Принципы: объективности. Для реализации цели проведен ряд исследований по изучению звукового сигнала в спектральной области с помощью методов быстрого и дискретного преобразований Фурье (БПФ и ДПФ соответственно).

Основная часть. Спектральный анализ — один из методов обработки сигналов, который позволяет охарактеризовать частотный состав измеряемого сигнала. ДПФ — один из распространенных инструментов спектрального анализа сигналов, широко применяемый в самых разных отраслях науки и техники.

Пара непрерывного преобразования Фурье (интеграл Фурье) имеет вид:

$$S(w) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \exp(-j\omega t) dt;$$

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(w) \exp(j\omega t) dw,$$

где $S(w)$ – спектр сигнала $s(t)$ (в общем случае и сигнал и спектр – комплексные).

Выражения для прямого ДПФ и обратного дискретного преобразования Фурье (ОДПФ) имеют вид :

$$S_d(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} nk\right), k = 0 \dots N-1;$$

$$s(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S_d(k) \exp\left(j \frac{2\pi}{N} nk\right), n = 0 \dots N-1;$$

ДПФ может считаться строгим математически преобразованием Фурье. В 1965 году Кули и Тьюки опубликовали общий метод быстрого преобразования Фурье (БПФ), и основной идеей такого метода было не улучшение точности, а уменьшение числа требуемых расчетных операций и увеличения скорости вычисления.

Данный алгоритм является самым распространенным алгоритмом БПФ, при котором ДПФ от $N = N_1 N_2$ выражается как сумма ДПФ более малых размерностей N_1 и N_2 рекурсивно для того, чтобы достичь сложность $O(N \log(N))$. В вычислительной технике наиболее часто используется рекурсивное разложение ДПФ надвое, то есть с основанием 2, а количество входных отсчетов является степенью двойки

При этом разработано множество быстрых алгоритмов для высокой вычислительной эффективности ДПФ [1]. Наиболее распространенным алгоритмом БПФ является алгоритм Кули-Тьюки, при котором ДПФ выражается как сумма ДПФ более малых размерностей рекурсивно для того, чтобы снизить квадратичную временную сложность алгоритма до логарифмической сложности. Исходя из того, что при разработке БПФ преследовалась цель повышения быстродействия алгоритма, можно предположить, что в некоторых случаях повышение скорости алгоритма может достигаться в ущерб точности получаемых результатов.

Хотя алгоритм БПФ требует меньше вычислительной мощности, при измерении реальных величин, этот метод в некоторых случаях не обеспечивает точности метода ДПФ. И объясняется это тем, что алгоритм БПФ ограничивается окном равным 2^n выборок. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что если в окне дискретизации разместить целое число периодов сигнала, то алгоритм БПФ обеспечит такую же точность, что и алгоритм ДПФ. Однако ограничение в 2^n выборок и фиксированные/дискретные частоты дискретизации делают алгоритм БПФ

непрактичным в задаче анализа гармоник, так как он не может обеспечить гибкость и точность в реальном измерении. Так как в окне дискретизации помещается не целое число периодов, имеет место эффект "утечки гармоник", в результате которого гармоники "просачиваются" в соседние смежные гармоники, что приводит к неточным результатам измерений [3–5].

Анализ сигналов с помощью БПФ может успешно применяться при рассмотрении гармоник сигнала в частотной области, однако для высокоточного анализа спектров метод БПФ не всегда является оптимальным решением.

Заключение. Исходя из всего вышесказанного можно сделать вывод, что при анализе реальных звуковых сигналов следует либо производить предварительную сегментацию сигнала при применении быстрого алгоритма Кули-Тьюки, либо использовать данный алгоритм в определенных случаях, когда полученной погрешностью результата можно пренебречь.

Список литературы

1. Оппенгейм А. Шафер Р. Цифровая обработка сигналов М.: Техносфера, 2012.
2. Bracewell R.N. The Hartley Transform. Oxford University Press, 1986.
3. Шелухин О.И. Цифровая обработка и передача речи / О.И. Шелухин, Н.Ф. Лукьянцев. – М.: Радио и связь, 2000 – 456 с.
4. Сорокин В.Н. Сегментация речи на кардинальные элементы / В.Н. Сорокин, А.И. Цыплихин // Информационные процессы. – 2006. – Т. 6. – № 3. – С. 177-207.
5. Дремин И.М. Вейвлеты и их использование / И.М. Дремин, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло // Успехи физических наук. – 2001. – Т. 171. – № 5. – С. 465-500.

УДК 512.642

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ, СВЯЗАННОЙ С БУЛЕВЫМИ МАТРИЦАМИ

Манилов Д.Ю.,

Решетников А.В., канд. физ.-мат. наук,

НИУ «Московский институт электронной техники», г. Москва

thdi@ro.ru, a_reshetnikov@hushmail.com

В данной работе булевой матрицей мы называем произвольную матрицу, составленную из элементов поля Z_2 , т. е. из чисел 0 и 1; при выполнении операций над такими матрицами сложение и умножение их элементов производятся по модулю 2.

Задача, которой посвящена настоящая работа, формулируется следующим образом:

Задача о крестах. Дана прямоугольная булева матрица со случайными элементами. Допускается выполнять с ней преобразования следующего вида:

- 1) выбираем какой-либо элемент данной матрицы;
- 2) значение всех элементов матрицы, стоящих с ним в одной строке, изменим на противоположные им значения;
- 3) аналогично, заменим противоположными значениями значения всех элементов матрицы, стоящих с выбранным элементом в одном столбце;
- 4) значение самого выбранного элемента также изменим на противоположное.

Требуется за некоторое число применений преобразований описанного вида получить из данной матрицы нулевую матрицу.

При решении данной задачи мы используем неофициальный термин крестовая матрица или просто крест.

Определение 1. *Крестом* называется булева матрица определённого вида, в которой единицы заполняют только одну какую-либо строку и только один какой-либо столбец, а все остальные её элементы – нули.

Также мы будем использовать неофициальный термин *центр* крестовой матрицы. Для заданной крестовой матрицы центром будем называть её элемент, стоящий на пересечении её ненулевой строки и ненулевого столбца.

Сначала рассмотрим только булевы матрицы, оба измерения которых **нечётны**.

Зафиксируем 2 нечётных натуральных числа m, n , больших 2 (случай, когда одно из чисел m, n равно 1, тривиален). Рассмотрим линейное пространство L всех матриц размера $m \times n$ над полем Z_2 . Для произвольной матрицы A из пространства L введём обозначения $a[i]$ и $b[j]$ следующим образом:

пусть i и j – два натуральных числа;

число i лежит в интервале от 1 до m ;

число j лежит в интервале от 1 до n ;

тогда $a[i]$ – сумма всех элементов i -й строки матрицы A ;

$b[j]$ – сумма всех элементов j -го столбца матрицы A .

Заметим, что множество всех матриц, у которых $a[i] = b[j]$ для любых чисел i и j , образует линейное подпространство (обозначим его через M) пространства L .

Лемма 1. Все крестовые матрицы фиксированного размера образуют в соответствующем выбранному размеру линейном пространстве M полную систему.

Доказательство (схема). Пусть a – произвольная матрица из линейного пространства M . Составим линейную комбинацию крестов из M следующим образом: если в i -ой строке в j -ом столбце матрицы a находится элемент 1, то крест с центром (i, j) возьмём с коэффициентом 1, иначе – с коэффициентом 0. Несложно проверить, что сумма всех крестов с указанными коэффициентами в точности равна a ввиду определения пространства M .

Систему крестовых матриц, о которой говорится в лемме, обозначим через B . Важно заметить:

Замечание 2. Множество B не является линейно независимой системой (исключение составляет лишь тривиальный случай, когда одно из чисел n или m равно 1). Действительно, возьмём, например,

$$m = 3; n = 3.$$

В этом случае одним из базисов пространства M является система крестовых матриц с центрами

$$(1; 1); \quad (1; 2); \quad (2; 1); \quad (2; 2); \quad (3; 3).$$

Ранее авторами был рассмотрен случай, когда оба числа m , n являются чётными [1]:

Теорема 3. В случае, когда оба измерения рассматриваемой матрицы – числа m и n – чётны, все крестовые матрицы (в смысле определения 1), образуют базис в пространстве всех булевых матриц размера $n \times m$.

Оставшийся случай, когда одно из чисел m , n чётно, а другое нечётно, в данной работе не рассматривается.

Список литературы

1. Манилов Д. Ю., Решетников А. В. Об одной задаче, связанной с булевыми матрицами. // Материалы X Международной научно-технической конференции «Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование» (ИУСМКМ-2019). – Донецк: ДОННТУ, 2019. – С. 35 – 37.

УДК 004.852

КЛАССИФИКАЦИЯ ИНТЕНТОВ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Бондаренко И.Ю.

Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, РФ
i.bondarenko@g.nsu.ru

Введение. Задача классификации интенгов, или пользовательских намерений, по текстовым репликам этих пользователей является одной из ключевых при проектировании автоматических диалоговых систем (чат-ботов). Данная задача, в целом, сводится к распознаванию текстов на естественном языке, но с двумя важными нюансами:

1. На вход классификатора интенгов могут поступать не только тексты, относящиеся к одному из распознаваемых классов, но и тексты, не относящиеся ни к одному из классов интенгов (т.н. «не-интенги»).

2. Размеченные выборки для обучения классификатора интенгов, как правило, весьма малы.

Следовательно, **цель данной работы** — создание такого алгоритма классификации интенгов, который, во-первых, обеспечивал бы эффективный отказ от распознавания в случае поступления заведомого “не-интента”, а во-вторых, мог бы приобретать высокую обобщающую способность после обучения на размеченной выборке малого объёма — является весьма актуальной.

Основная часть. В последнее десятилетие наибольшую эффективность для задач распознавания образов и анализа текстов показали методы глубокого обучения (англ. deep learning), основанные на применении существенно многослойных нейронных сетей: в частности, для задач анализа текстов могут применяться нейронные сети с числом слоёв порядка десяти, а в нейронной сети для компьютерного зрения количество слоёв может достигать ста и выше. Но такие нейронные сети, помимо своих преимуществ, обладают и недостатками:

1) глубокая нейронная сеть чересчур “оптимистична”, т.е. вероятность распознанного класса остаётся весьма высокой, даже если на вход поступает объект, не принадлежащий ни к одному из известных ей классов;

2) глубокая нейронная сеть приобретает хорошую способность к обобщению только на обучающих выборках очень большого объёма (порядка миллиона обучающих примеров), в противном случае она склонна к переобучению (англ. overfitting).

Подходом, в определённой степени снижающим влияние этих недостатков, являются т.н. байесовские нейронные сети, в которых весовые коэффициенты являются не числами, как в обычных глубоких нейронных сетях, а случайными величинами. Обучаются такие нейронные сети с помощью специальной модификации алгоритма обратного распространения ошибки – т.н. “обратного байесораспространения” (англ. Bayesian by Backpropagation). [1]

Если мы обозначим параметры байесовской нейронной сети как w , а обучающие данные как D , то апостериорная вероятность параметров байесовской нейронной сети оценивается в соответствии с теоремой Байеса:

$$P(w|D) = \frac{P(D|w) \cdot P(w)}{P(D)}, \quad (1)$$

где $P(D|w)$ — это правдоподобие модели (байесовской нейронной сети), $P(w)$ — априорная вероятность параметров, а $P(D)$ — полная вероятность.

Зная распределение $P(w|D)$, мы можем вычислить вероятность того, что неизвестный входной образ \hat{x} из тестового множества данных должен быть отнесён к некоторому классу \hat{y} , следующим образом:

$$P(\hat{y}|\hat{x}) = M_{P(w|D)}[P(\hat{y}|\hat{x}, w)], \quad (2)$$

что фактически, означает усреднение работы бесконечного ансамбля нейронных сетей, что очевидно невозможно для нейронных сетей в любой

практической, а не модельной, ситуации, когда количество параметров нейронной сети достигает сотен тысяч и даже миллионов. Но мы можем выполнить вариационную аппроксимацию неизвестного нам распределения $P(w|D)$ с помощью нормального распределения $q(w|\theta)$, где θ — это параметры аппроксимационного распределения. И тогда нам нужно найти такие параметры θ^* , которые бы минимизировали расстояние Кульбака-Лейблера между аппроксимационным и исходным распределениями:

$$\theta^* = \arg \min_{\theta} KL [q(w|\theta)||P(w|D)]. \quad (3)$$

На основе метода байесовских нейронных сетей были разработаны алгоритм и компьютерная модель классификатора интенгов в текстах на естественном языке. Алгоритм состоит из предварительно обученной глубокой нейронной сети типа BERT [2] в качестве генератора признаков для текста и байесовской нейронной сети (свёрточной нейронной сети со стохастическими весами) в качестве финального классификатора. Компьютерная модель была реализована на языке программирования Python с использованием библиотеки Tensorflow 1.4.

Были проведена серия экспериментов по классификации семи классов интенгов с отказом от распознавания на открытом англоязычном корпусе размеченных текстов SNIPS-2017 [3]. Дополнительно в качестве текстов-«не-интенгов» для обучения использовались тексты из открытого англоязычного корпуса Brown Corpus, а для тестирования – тексты из английского перевода Книги Бытия. В экспериментах участвовали три алгоритма:

- 1) обычная свёрточная нейронная, в которой отказ от распознавания “не-интента” осуществлялся по порогу максимальной вероятности;
- 2) обычная свёрточная нейронная сеть, в которой все “не-интенты” моделировались как $(N+1)$ -й класс в процессе обучения;
- 3) байесовская свёрточная нейронная сеть, в которой отказ от распознавания осуществлялся по порогу максимальной вероятности.

Критерием качества распознавания на тестовой подвыборке была F1-мера с микроусреднением, причём при расчёте F1-меры все “не-интенты” учитывались как $(N+1)$ -й класс. Результаты тестирования приведены в следующей таблице.

Таблица 1

Результаты экспериментов на размеченном корпусе текстов SNIPS-2017

Алгоритм	F1-мера с микроусреднением
Свёрточная нейросеть с отказом по порогу вероятности	0,98
Свёрточная нейросеть с $(N+1)$ -м классом	0,97
Байесовская свёрточная нейросеть с отказом по порогу вероятности	0,99

Разработанная компьютерная модель и описание хода экспериментов доступны в открытом репозитории GitHub. [4]

Заключение. В результате экспериментов можно сделать вывод, что байесовская свёрточная нейронная сеть является эффективным алгоритмом классификации интенгов в текстах на естественном языке. Ключевыми преимуществами нейронных сетей такого типа являются:

1) способность более эффективно моделировать неопределённость в данных, что обеспечивает реализацию отказа от распознавания по порогу максимальной уверенности нейронной сети в ответе;

2) большая устойчивость к переобучению, что позволяет обучать большие байесовские нейронные сети на выборках меньшего объёма.

Список литературы

1. Charles Blundell, Julien Cornebise, Koray Kavukcuoglu, Daan Wierstra. Weight Uncertainty in Neural Networks // Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning. – 2015. – P. 1613-1622.
2. Matthew E. Peters, Sebastian Ruder, Noah A. Smith. To Tune or Not to Tune? Adapting Pretrained Representations to Diverse Tasks // Proceedings of the 4th Workshop on Representation Learning for NLP. – 2019. – P. 7-14.
3. Alice Coucke, Alaa Saade, Adrien Ball and others. Snips Voice Platform: an embedded Spoken Language Understanding system for private-by-design voice interfaces // Computing Research Repository. – 2018. – Vol. abs/1805.10190. – URL: <http://arxiv.org/abs/1805.10190>
4. Impartial Text Classifier: [сайт]. URL: https://github.com/bond005/impartial_text_cls

УДК 681.332

УЛУЧШЕНИЕ КРИПТОСТОЙКОСТИ АФФИННОГО ШИФРА

Рыбалко Л.А., доцент

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
l.rybalko@donnu.ru

Введение. В настоящее время широко применяются специальные компьютерные программы, которые кодируют или подписывают исходные тексты с использованием алгоритмов той или иной сложности. В свободном доступе предоставлено не очень большое количество приложений, которые доступны для частных лиц, обычных пользователей. На данный момент очень многие хранят свои личные ежедневники, творческие работы, в частности рукописи, личные данные и многое другое на электронных носителях. Программы шифрования данных помогают сохранить секретность информации.

Цель – улучшить криптостойкость аффинного шифра k -го порядка в случае, когда злоумышленник знает исходный и зашифрованный тексты.

Основная часть. Придумано большое количество алгоритмов шифрования, обеспечивающих различную степень криптостойкости. Например, исторически известный шифр Цезаря заключается в замене каждого символа исходного текста отстоящим от него на некотором расстоянии символом того же алфавита (в частности, Цезарь использовал $k = 3$). Для взлома шифра достаточно перебрать значение $0 < k < m$, где m - мощность алфавита.

Обобщением этого алгоритма является аффинное преобразование Цезаря: символ с кодом x заменяют символом с кодом y по формуле:

$$y = ax + b \bmod m,$$

где $a \neq 0$, $NOD(a, m) = 1$.

Очевидно, при $a = 1$ и $b = 3$ имеем шифр Цезаря. Шифр легко взламывается при наличии двух пар исходный символ – зашифрованный символ. Действительно, пусть известны (x_1, y_1) , (x_2, y_2) и $NOD(x_1 - x_2, m) = 1$:

$$\begin{cases} y_1 = ax_1 + b \bmod m, \\ y_2 = ax_2 + b \bmod m. \end{cases}$$

Вычтем из первого сравнения второе. Получим сравнение

$$y_1 - y_2 = a(x_1 - x_2) \bmod m,$$

откуда определяется a . Затем $b = y_1 - ax_1 \bmod m$.

Дальнейшим обобщением является аффинный шифр k -го порядка, называемый также криптосистемой Хилла [1].

Исходный текст делится на блоки по k символов: $X^j = (x_1^j, x_2^j, \dots, x_k^j)^T$ – j -ый блок исходного текста.

Ключом шифра является квадратная невырожденная матрица размером $k \times k$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{kk} \end{pmatrix},$$

где $0 \leq a_{ij} \leq m - 1$, $(i, j = 1, 2, \dots, k)$, определитель матрицы $\det(A) \neq 0$ и $NOD(\det(A), m) = 1$.

В силу взаимной простоты определителя матрицы $\det(A)$ и мощности алфавита m существует обратная матрица A^{-1} такая, что $A \times A^{-1} = E$, где E – единичная матрица.

Шифрование происходит по формуле

$$Y^j = A * X^j \bmod m,$$

где Y^j – j -ый блок шифротекста.

Расшифровывание выполняется как

$$X^j = A^{-1} * Y^j \bmod m.$$

Зная k пар блок открытого текста – блок зашифрованного текста, злоумышленник может попытаться вычислить коэффициенты матрицы A . Например, коэффициенты первой строки матрицы $A_1 = (a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1k})$ определяются из системы сравнений по $\text{mod } m$:

$$\begin{aligned} x_1^1 * a_{11} + x_2^1 * a_{12} + \dots + x_k^1 * a_{1k} &= y_1^1, \\ x_1^2 * a_{11} + x_2^2 * a_{12} + \dots + x_k^2 * a_{1k} &= y_1^2, \\ \dots & \dots \\ x_1^k * a_{11} + x_2^k * a_{12} + \dots + x_k^k * a_{1k} &= y_1^k, \end{aligned}$$

при условии, что $\det(X) \neq 0$, $NOD(\det(X), m) = 1$, где $X = (X_1, X_2, \dots, X_k)$ – матрица, составленная из столбца X_1 первых символов всех k сообщений, столбца X_2 вторых символов всех k сообщений и т.д.

Если $\det(X) = 0$ или $NOD(\det(X), m) \neq 1$, то необходимо заменять некоторые уравнения, используя данные последующих блоков.

Наряду с ключевой матрицей A используют также ключевой вектор-столбец B , выполняя шифрование по формуле

$$Y^j = A * X^j + B \text{ mod } m.$$

При расшифровывании используют формулу

$$X^j = A^{-1} * (Y^j - B) \text{ mod } m.$$

В этом случае злоумышленнику потребуется знание как минимум $k + 1$ пары блок открытого текста – блок зашифрованного текста.

Для дальнейшего улучшения криптостойкости аффинного шифра рекомендуется следующая модификация.

Перед шифрованием сообщения выбирается случайный вектор ξ и вычисляется вектор $B^0 = A * \xi$. Этот вектор B^0 предваряет шифротекст.

Последующие значения B^j вычисляются итерационно как

$$B^j = F_{\xi}(B^{j-1}) \text{ mod } m, \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (1)$$

и используются для дальнейшего шифрования исходного текста по формуле:

$$Y^j = A * X^j + B^j \text{ mod } m.$$

Получатель расшифровывает предваряющий блок

$$\xi = A^{-1} * B^0 \text{ mod } m$$

и по формуле (1) вычисляет последовательность $\{B^j\}$, используя ее члены для расшифровывания сообщения:

$$X^j = A^{-1} * (Y^j - B^j) \text{ mod } m.$$

Количество различных значений случайного вектора ξ равно m^k . Например, при использовании таблицы ANSI ($m=256$) и $k = 8$ (длина блока 64 бита) пространство значений ξ равно $256^8 = 2^{64}$, что практически исключает возможность использования метода полного перебора.

Существует m^{k^2} матриц размера $k \times k$ для алфавита мощностью m символов. Это только верхняя оценка, поскольку не каждая матрица обратима, а только такие матрицы могут быть ключом.

Опасность того, что детерминант ключевой матрицы будет иметь общие делители с основанием модуля m можно устранить путем выбора в качестве m простое число.

Заключение. Рассмотрен простой и достаточно эффективный метод защиты информации при использовании аффинного шифра от атак при знании пары исходный текст – зашифрованный текст за счет увеличения шифротекста на один блок.

Список литературы

1. Романец Ю.В., Тимофеев П.А., Шаньгин В.Ф., Защита информации в компьютерных системах и сетях / Под ред. В.Ф. Шаньгина. – 2-е изд., перераб. и доп – М.: Радио и связь, 2001. – 376 с.: ил.

УДК 004.9

ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГОРОДСКОГО НАВИГАТОРА ДЛЯ ПЛАТФОРМЫ ANDROID

Авдюшина Е.В., канд. физ.-мат. наук, доцент,
Шевченко А.Ю.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
quidytv@gmail.com

Введение. В эпоху развития интернета как огромной базы пространственных данных актуальность навигационных приложений играет важную роль. Разработка программного обеспечения в этой области практически не представляется возможной без использования ГИС-технологий. ГИС представляет собой географическую информационную систему, дающую возможность отмечать на карте окружающие нас объекты, проводить их анализ по определенным параметрам, визуализировать их и на основе данных прогнозировать события и явления. Данная технология считается достаточно мощной, поэтому она помогает в решении большого количества локальных и общих задач. Сегодня ГИС-технологии могут быть внедрены во многие сферы жизнедеятельности.

Цель работы – разработка информационной модели на основе ГИС-технологий, создание мобильного приложения городского навигатора, с использованием ГИС и Java.

Основная часть. Информационная система представляет собой базу цифровых данных в цифровом формате [1]. Большой объем данных, содержащихся в базе данных, дает широкий спектр анализа различных параметров. Это детализированные слои, сгруппированные по географическому признаку, также они зависят от выбранной системы координат. Все происходящие события могут быть успешно отслежены в этой базе данных. Помимо этого, она даёт возможность поиска точек на всём земном шаре, отслеживания движущихся объектов.

Один из примеров, демонстрирующих реальные преимущества ГИС-технологий – это карты местности. Постоянно ведется новое строительство, разрабатываются дороги, в связи с чем карты устаревают. ГИС позволяет отслеживать эти изменения и почти мгновенно интегрировать их в базу данных. Запущенная в виртуальной сети, такая карта всегда будет иметь самые последние данные в руках пользователей [2].

Разработка приложений для Android - одна из самых популярных областей программирования. Это понятно, так как около двух третей мобильных устройств в мире в настоящее время работают на Android. Игры, различные сервисы и другие стартапы разрабатываются для этой операционной системы. Крупные компании вместо мобильных версий сайта все чаще предлагают пользователям сервисные приложения.

Для разработки приложения выбрана архитектура MVC (Model-View-Controller) [3]. Такая структура Модель-Вид-Контроллер делит ГИС на части. Модель работает с поведением ГИС-приложений, с данными и с запросами. Вид предоставляет данные пользователю. Контроллер отвечает за обработку исходных данных, за управление компонентами. Контроллер реагирует на действия пользователя и сообщает об изменениях модели [2]. С помощью такой структуры система делится на самостоятельные части, что способствует распределению ответственности между разными компонентами всего приложения.

Также необходимо выбрать язык программирования. Языки более низкого уровня позволяют писать собственные приложения, которые могут быть полезны для создания игр или других ресурсоемких программ. Android Studio предлагает поддержку C/C++ через Android NDK (Native Development Kit). Это означает, что код будет запускаться не через виртуальную машину Java, а непосредственно через устройство, что даст больший контроль над такими системными элементами, как память, датчики, жесты и т. д., а также возможность использовать максимум ресурсов из устройств Android. Кроме того, при разработке придется использовать только те библиотеки, которые написаны на C или C++. В свою очередь, его сложно настроить и не очень удобно, поэтому целесообразно использовать его для разработки только тех программных модулей, в которых необходимо быстро выполнять сложные операции: обработку и рендеринг графики, видео и сложных 3D-моделей.

Xamarin – относительно новый инструмент, в основе которого заложены принципы технологий Microsoft. Это своего рода особый инструмент, так как используя один лишь язык C#, он даёт возможность разрабатывать приложения для всех мобильных платформ. Из преимуществ данной технологии хотелось бы отметить высокие показатели производительности, возможность создания интерфейса с помощью платформу-зависимых элементов UI, практически полное отсутствие проблем совместимости оборудования, наличие полного пакета инструментов разработки. Из недостатков: задержки с обновлениями платформ, неполный доступ к open-source библиотекам, большой объем приложений, написанных с помощью этого инструмента, а также сложности с интеграцией сторонних ресурсов, технология не подходит для приложений с высокопроизводительной графикой.

Java по праву считается официальным языком Android. Java является широко используемым языком программирования, который следует парадигме объектно-ориентированного программирования и подходу «Однажды напиши и используй везде» [4]. Java используется для настольных, сетевых, мобильных и корпоративных приложений. API Android очень похоже на API языка Java, и Android поддерживает если не все доступные в J2SE SDK классы, то, по крайней мере, наиболее важные. Java даёт возможность отслеживать геопозицию, работать с картами [5], с помощью API расширять функционал до поиска ближайших объектов, построение маршрута и расчета расстояния.

Также немаловажно выбрать среду разработки. Android Studio – IDE для мобильной платформы Android. Из многочисленных преимуществ среды можно выделить: универсальность среды разработки, широкий функционал, интуитивно понятный интерфейс, возможность отслеживать прогресс изменения проекта в реальном времени, возможность тестировать и оптимизировать создаваемое приложение под любые устройства.

Для работы с картами местности наиболее функциональным продуктом является Google Maps API, который обеспечивает надежную работу геолокационных сервисов. Этот функционал позволяет отображать и обновлять интерактивные карты.

Заключение. Таким образом разработана информационная модель приложения для платформы Android с использованием языка программирования Java, среды разработки Android Studio и ГИС-технологий. Созданная модель приложения представляет собой городской навигатор, имеющий архитектуру MVC и дающий возможности работы с картой, поиска ближайших объектов, расчета расстояния и построения маршрутов.

Список литературы

1. Ехлаков Ю.П. Принципы построения web-ориентированной ГИС промышленного предприятия / Ю.П. Ехлаков, О.И. Жуковский, Н.Б. Рыбалов // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – №7. – С. 4-5.

2. Кацко С.Ю. Классификация и принципы работы геоинформационных web-серверов в интернет-системе «клиент-сервер» / С.Ю. Кацко // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2006 – С. 10-11.
3. Журавель В.В. WEB-технологии и ГИС на примере геопорталов и WEB-ГИС-серверов / В.В. Журавель, П.А. Осипов, Я.С. Осипова, М.О. Димухаметов, Д.А. Осипова // Фундам. и прикл. науч. исслед.: актуальные вопр., достижения и инновации: сб. ст. VIII Международной науч.-практич. конф.: в 4 ч. – Пенза: ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 2017. – С. 115-117.
4. Дейтел П. Android для разработчиков. 3-е изд. / П. Дейтел, Х. Дейтел, А. Уолд — СПб.: Питер, 2016. — 512 с.
5. Харди Б. Android. Программирование для профессионалов. 2-е изд. / Б. Харди, Б. Филлипс, К. Стюарт, К. Марсикано — СПб.: Питер, 2016. — 640 с.

УДК 004.9

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ WEB-СЕРВИСОВ УПРАВЛЕНИЯ КОМПАНИЕЙ

Авдюшина Е.В., канд. физ.-мат. наук, доцент,
Шеремет А.С.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
kf.tuvm@donnu.ru

Введение. Управление предприятием является нелегкой организованной работой, которая состоит из ряда трудоёмких действий, таких как ведение документации, прогнозирование развития предприятия, ведение экономических дел, управление сбытом, производством продукции, управление запасами и т.д. [1]. Поэтому на сегодняшний день всё большее количество компаний и предприятий, как частных, так государственных, стремятся автоматизировать работу с документацией, экономическими расчетами или автоматизировать весь процесс управления организацией [2]. Готовые программные решения [3] являются универсальными, не адаптированными под какие-то конкретные нужды отдельно взятого предприятия, и более того, являются платными. Следовательно, создание и внедрение информационной модели web-сервисов для управления конкретным предприятием или компанией актуально.

Целью работы является разработка индивидуальной, адаптированной информационной модели web-сервисов для управления компанией «Вода Донбасса» и, тем самым, минимизация работы с бумажной документацией.

Основная часть. Характерная особенность модели системы управления компанией – принципиальный подход к использованию единой транзакционной системы для основного большинства операций и

бизнес-процессов организации, вне зависимости от функциональной и территориальной разобщённости мест их возникновения и прохождения, обязательность сведения всех операций в единую базу для последующей обработки и получения в реальном времени сбалансированных планов. Исходя из сущности систем управления компаниями использована классическая иерархическая структура. На первом уровне располагается директорский состав. Этот уровень представляет возможности управления системой адаптированные для директоров и начальников подразделений предприятия. Уровнем ниже в схеме приводится разделение компании на отделы: финансовый, кадровый, планирования, снабжения. Нижним уровнем являются функциональные задачи системы управления: разработка продукции, производство продукции, сбыт продукции.

Продукцией предприятия «Компания «Вода Донбасса» является очищенная и прошедшая контроль качества вода, а также услуги ремонта каналов поступления воды. В качестве планирование продукции в предприятии является сам процесс проверки воды на степень её загрязненности, жесткости, состава и пригодности для питья в целом. Процесс отбора воды, её очистки, согласно установленным ранее выводам лаборатории контроля качества воды является главным звеном производства продукции. Сбытом продукции можно назвать поступление очищенной воды в водопровод населенных пунктов и услуги ремонта этого водопровода.

Разработка информационной модели состояло из нескольких этапов. Первый этап разработки – формирование целей. Особое внимание на этапе уделено вопросам модернизации традиционного ведения документации и управления предприятием на базе использования современных информационных технологий. Причем, целью является не сама модернизация, а повышение эффективности того или иного вида рабочей деятельности с использованием современных информационных технологий. Второй этап – формирование детальной структуры предприятия, разработана модель управления предприятием согласно внутренней структуре подразделений и потребностей предприятия.

На следующем этапе создания информационной модели web-сервиса управления компании построен общий графический интерфейс для авторизации пользователя и интерфейсов модулей сервиса для каждого подразделения. Тут важным фактором выступает то, что каждый модуль будет иметь фактическую независимость от других модулей и передавать информацию только в случае запроса. Такой подход обеспечит меньшую загруженность сервиса, т.к. для каждого модуля будет фиксированное количество пользователей, а также обеспечит большую безопасность, другими словами: никто не будет иметь прямой доступ к чужому модулю или подразделению.

Четвертый этап разработки основывался на разработке структуры базы данных для хранения информации и структуры предприятия. Не

менее важным является заполнение базы данных существующей достоверной информацией.

Далее реализован этап разработки функционала модулей и подключения к ним источника данных. Этот пункт представляет собой наполнение всех моделей определенными возможностями, такими как: расчет данных, ведение отчетности и другой документации, передача информации, поиск, фильтрация, вывод запрошенной информации и т.д.

Перед тем, как выпустить готовый продукт для использования проведено его протестировать. В процессе этого этапа были установлены следующие факторы: степень функциональности сервиса и модулей в отдельности, степень соответствия запросам компании, степень юзабилити программного продукта. Для созданной модели определены самые важные блоки базовой функциональности, которые задействованы в обязательном порядке в предприятии «Вода Донбасса». Система имеет 7 основных блоков управления запасами, снабжением, сбытом, производством, планированием, сервисным обслуживанием, цепочками поставок, финансами.

Для программной реализации системы управления предприятием «Вода Донбасса» выбран локальный сервер “WAMP” с набором предустановленных инструментов, сред программирования и системами управления базами данных. В качестве основной среды программирования выбран фреймворк Laravel 5.8 и язык PHP. Вспомогательным языком программирования для сервиса выбран JavaScript с технологией AJAX. Системой управления базами данных для web-сервиса выбрана СУБД MySQL, обеспечивающая в связке с PHP очень высокое быстродействие, которого трудно достичь другими средствами. Интерфейс системы управления компанией реализован на HTML5, CSS3, JS.

Для сохранения приватности информации и её защиты использован метод протекции. В данном сервисе использовано 2 метода защиты системы. Первый способ заключается в авторизации данных персонала, а второй, более сложный, с организацией рабочей сессии пользователя и доступа к модулю, согласно соответствию сотрудника, к определенному подразделению предприятия. Для обеспечения защиты системы от несанкционированного доступа приводится алгоритм, в котором для авторизации необходимо получить хешированные данные, которые состоят из сгенерированной случайной строки символов.

Заключение. Разработана информационная модель web-сервиса для управления предприятием и ее программная реализация с поддержкой защиты пользовательских данных и защитой доступа к модулям, которые внедрены в работу предприятия «Компания «Вода Донбасса»».

Список литературы

1. Высочкин А.В. Разработка математической модели системы управления ресурсами предприятия / А.В. Высочкин, Е.М. Портнов, В.В. Слюсарь // Современные наукоемкие технологии. - 2019. – № 1. – С. 36-40.

2. Замятина О.М. Адаптация стандарта зарубежных ERP-систем к условиям современных российских предприятий / О.М. Замятина, Н.Г. Саночкина, И.Г. Озерова // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – № 1. – С. 193-196.
3. Тарасов В.Б. Модель формирования структур объединений виртуальных предприятий на основе популяции эволюционирующих агентов / В.Б. Тарасов, П.В. Афонин, Д. Картежников // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2007. – № 1. – С. 55-58.

УДК 003.26

ПОСТРОЕНИЕ ХЭШ-ФУНКЦИИ И СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ ПОД ДОКУМЕНТАМИ

Шкодина Л.Н., канд. физ.-мат. наук,
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
kf.tuvm@donnu.ru

Владение информацией необходимого качества в нужное время и в нужном месте является залогом успеха в любом виде хозяйственной деятельности. Монопольное обладание определенной информацией оказывается зачастую решающим преимуществом в конкурентной борьбе. Поэтому информацию при пересылке по компьютерным сетям шифруют.

При пересылке электронных документов, не содержащих секретных сведений, нет необходимости зашифровывать их полностью. В настоящее время истинность документов можно подтвердить с помощью электронно-цифровой подписи (ЭЦП), которая основана на использовании хэш-функции. Хэш-функция делает выжимку из всего документа, и её полученный короткий результат зашифровывается с помощью ассиметричных алгоритмов. Одним из типов построения хэш-функции являются функции «разработанные с нуля» [2,5].

Для построения ЭЦП применяется композиция двух шифров: аффинного шифра 3-го порядка и шифра RSA [1,3,4].

При построении хэш-функции исходный документ делится на блоки по 15 или 20 элементов. Затем выбираются произвольные исходные векторы (цифровые и в десятичной системе) A, B, C, D, E , которые получают первоначальные значения, и дополнительные векторы a, b, c, d, e . Каждый блок исходного текста W обрабатывается с помощью построенных векторов a, b, c, d, e :

$$\begin{aligned}
 a[i] &= (3 * W_k[i]) \bmod n \\
 b[i] &= (a[i] * b[i] * 5) \bmod n \\
 c[i] &= (a[i] + W_k[i] + 2 * b[i]) \bmod n \\
 d[i] &= (c[i] * 7 + a[i]) \bmod n \\
 e[i] &= (d[i] * c[i]) \bmod n
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

В формулу (1) входит блок исходного текста W_k (в цифровой форме). Затем для получения хэш-функции векторы a, b, c, d, e подвергаются арифметическим операциям, операциям сдвига, операциям мультипликативного обратного.

$$\begin{aligned} a[i] &= a[i]^{-1} + 4 * b[i] \gg 3, \\ b[i] &= c[i] - 3 * b[i] + e[i]^{-1}, \\ c[i] &= (a[i] \ll 7 + 5 * b[i] + c[i]) - 7 * (e[i] \gg 4), \\ d[i] &= (a[i] - b[i])^{-1} - 3 * (c[i] \ll 2), \\ e[i] &= a[i] - b[i] - 3 * c[i]^{-1}, \end{aligned} \quad (2)$$

здесь i меняется от 1 до 15 или до 20.

В результате такой обработки векторы a, b, c, d, e получают новые значения, содержащие сведения от каждого текущего блока исходного текста W_k . Исходные векторы A, B, C, D, E после окончания обработки всего текста W получают новые значения:

$$\begin{aligned} A &= (A + a) \bmod n, B = (B + b) \bmod n, \\ C &= (C + c) \bmod n, D = (D + d) \bmod n, \\ E &= (E + e) \bmod n. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь n – размер выбранного алфавита или числового множества.

Окончательно, после обработки последнего блока W_k исходного текста, получаем хэш-код h :

$$h = (A + B + C + D + E) \bmod n \quad (4)$$

Построенный хэш-код является стойким. Небольшое изменение исходного текста сильно изменяет хэш-код. К полученному хэш-коду применяется композиция двух шифров [5].

Пример. Исходный текст: “Cryptography is about constructing and analyzing protocols that prevent third parties or the public from reading private messages.”

Хэш-код: $h=543383660622949403152243470$.

Результат шифрования аффинным шифром 3-го порядка:

5933706123725156235036665273257232434457441261444319.

К полученному результату применяется алгоритм RSA и окончательный результат ЭЦП:

3544934354511347523542435676249362435176940221769341354926165116
0293137883004.

Список литературы

1. Мао В. Современная криптография: Теория и практика / В. Мао. – М.: Вильямс, 2005. – 763 с.
2. Петров А. А. Компьютерная безопасность. Криптографические методы защиты / А. А. Петров. – М.: ДМК, 2000. – 445 с.
3. Рябко Б. Я. Криптографические методы защиты информации / Б. Я. Рябко, А. Н. Фионов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 229 с.
4. Столингс В. Криптография и защита сетей / В. Столингс. – М.: Вильямс, 2001. – 669 с.

5. Шкодина Л. Н. Построение хэш-функции и создание электронно-цифровой подписи с использованием симметричного и ассиметричного шифров / Л. Н. Шкодина // Вестник ДонНУ. Сер. А. Естественные науки, 2016, Вып.3. – С.50-54.

УДК 004.932.72'1

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ С УЧЁТОМ ВЫРАЗИТЕЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Киселёв Ф.В.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
theodoreii@yandex.ru

Введение. Достаточно распространённой в настоящее время является задача распознавания и интерпретации звуковых сигналов. Под «интерпретацией» в данном контексте принято понимать анализ, обработку и верификацию сигналов. Так, например, широко распространены системы, преобразующие преобразование речи в текст, а некоторые исследователи [3] ставят своей целью на основе некоторых характерных признаков разработку систем, которые позволяют верифицировать пользователя.

Цель данной работы – разработка теоретической основы системы, которая позволит анализировать характерные для человека особенности звукогенерации и, с одной стороны, с высокой долей достоверности имитировать их, а с другой – анализировать на аутентичность существующие записи.

Основная часть. Сопутствующей к обозначенной проблеме задачей является проблема генерации звуковых сигналов по некоторым параметрам. Существующие системы синтеза речи, к примеру, формально решают эту задачу, воспроизводя требуемый текст достаточно корректно для его понимания людьми, однако о правдоподобии подобных решений говорить не приходится. В большинстве случаев без труда можно отличить сгенерированные фразы от тех, что были произнесены человеком. Подобного сорта проблемы присущи и другим звуковым генераторам: так, в частности, средства, предназначенные для воспроизведения звучания музыкальных произведений играют, как принято говорить в музыкальной среде, ровные партии, в то время как любой живой музыкант имеет характерные особенности воспроизведения звуков, придающие исполнению дополнительный окрас.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что существующие системы генерации звуковых сигналов, предназначенные для

воспроизведения музыкальных произведений, не учитывают в полной мере те особенности, которыми обладает исполнение живым артистом [1].

Рассматривая приведённый выше пример с синтезом исполнения музыкальных произведений можно, даже при поверхностном изучении предметной области заметить, что среди музыкантов уже существует перечень характерных черт, отличающих одно исполнение от другого: беглость, интонирование, умение держать темп, соответствие ритмической структуре произведения.

Все эти признаки возможно формализовать и анализировать. Так, умение держать ритм, можно количественно измерить напрямую, сравнив исполнение с «эталонной» (то есть записанной нотами) записью произведения. Анализ других признаков более сложен, но исключительно с технической, а не концептуальной точки зрения. В качестве примера можно привести распознавание и преобразование звучания для разных инструментов. Учитывая, что существуют эталоны высоты звука для каждой из нот (камертоны), то становится возможным выделить дополнительные колебания (обертоны), которые и отличают один инструмент от другого.

Таким образом, становится возможным, во-первых решить задачу определения типа инструмента; во-вторых – по записи одного инструмента с помощью удаления оригинальных обертонов и добавления иных, характерных для других инструментов, проводить преобразования записи; наконец, в-третьих, решать обратную задачу: определение аутентичности записи, то есть получение ответа на вопрос «является ли запись оригинально, или была эмулирована?»

Всё вышесказанное, вообще говоря, относится не только к музыке, но и к обработке любых образов, имеющих характерные особенности, таких как, например, запись голоса.

Заключение. Принимая во внимание вышесказанное, основываясь на тезисе Тьюринга о реализуемости процесса, а также на том, что любой звуковой сигнал можно редуцировать до совокупности волн [2], целесообразна постановка следующих задач: проанализировав предметную область, формализовать отличительные признаки одного варианта исполнения от другого; разработать модель генерации звуковых сигналов, которая будет учитывать выразительные особенности человеческого характера воспроизведения звуков. При условии достаточно большой выборки вариантов воспроизведения одного человека видится возможным выявление персональных особенностей и генерации звука в характерной для него манере; наконец, решение обратной задачи: анализ звукового сигнала на аутентичность.

Список литературы

1. Горшков Ю.Г. Обработка речевых сигналов на основе вейвлетов // Т-Comm – Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – № 2. – С. 46-53.

2. Иванов А.В. Применение методов шумоочистки для фильтрации речевой информации / А.В. Иванов, И.Л. Рева, П.С. Фазлуктинов // Динамика систем, механизмов и машин. – 2017. – №4. – С.70-73
3. Криводубский О.А. Моделирование особенностей речи диктора / О.А. Криводубский., Е.Е. Федоров // Математические машины и системы. – 2008. – № 1. – С. 163-170.

УДК 004.588

**ЛОКАЛИЗОВАННАЯ ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
КОМПЬЮТЕРНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
КАЛЬКУЛЯТОРА ДЛЯ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ
БЕГУЩИХ НОРМАЛЬНЫХ ВОЛН В ФУНКЦИОНАЛЬНО
ГРАДИЕНТНЫХ СПЛОШНЫХ ЦИЛИНДРАХ**

Житняк В.А.,

Прийменко С.А., канд. физ.-мат. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
pr@donnu.ru

Введение. Упругие тела цилиндрической геометрии представляют собой важнейший по фундаментальной и прикладной значимости класс объектов математического моделирования в волновой механике деформируемых сред. Это актуализирует, с одной стороны, дальнейшие научные исследования в рамках указанных моделей, с другой – включение в магистерские программы высшего профессионального образования направлений подготовки, связанных с механико-математическим моделированием, дисциплин, обеспечивающих подготовку специалистов в этой области, а также разработку сопровождающих учебный процесс локальных программных приложений, реализующих численные эксперименты для изучаемых моделей волнового деформирования с привлечением современных средств визуализации полученных физических эффектов.

Математическая модель. Рассматривается модель для исследования нормальных упругих волн в протяженном цилиндрическом теле, занимающем в нормированной безразмерной цилиндрической системе координат $Or\theta z$ область $V = \{r \in [0,1], \theta \in [-\pi, \pi], z \in (-\infty, \infty)\}$. Полагается, что физико-механические характеристики изотропного радиально-неоднородного материала волновода подчиняются такому функциональному закону $f_{\lambda,q}(r) = \lambda r^q$. Параметры λ ($\lambda \in \mathbb{R}$) и q ($q \in \{0\} \cup \mathbb{N}$) характеризуют соответственно относительный максимальный уровень и форму локализации в теле волновода радиальной неоднородности материала.

Классическая пространственная линейная математическая модель динамического напряженно-деформированного состояния упругих тел с усложненными физико-механическими свойствами в системе координат $O\theta z$ включает систему из трех дифференциальных уравнений движения, шесть определяющих соотношений обобщенного линейного закона Гука для изотропного тела, шесть уравнений связи между компонентами тензора малых деформаций и компонентами вектора динамических упругих волновых перемещений, а также три краевых условия на граничной поверхностью $\Gamma = \{r = 1, \theta \in [-\pi, \pi], z \in (-\infty, \infty)\}$ волновода.

Базисные решения уравнений представленной математической модели определяются в матричной форме в виде разложений радиальных составляющих решений в равномерно и абсолютно сходящиеся обобщенные степенные ряды по радиальной координате.

Информационная модель. Для решения задачи предложена следующая двухкомпонентная информационная модель: вычислительный модуль и модуль визуализации. Такое разбиение соответствует логике процесса обработки информации в данной задаче, т.к. предполагает различные требования к программной реализации этих модулей.

Для визуализации задаваемых характеристик задачи необходимо вычислять значения ряда функций, описывающих рассматриваемые процессы. Учитывая большой объем вычислительных операций и отсутствие стандартных библиотек программ, реализующих вычисления функций, описывающих программируемое решение, для вычислительного модуля необходимо использовать программные средства, ориентированные на реализацию универсальных вычислительных алгоритмов.

Выполнение модуля визуализации, в свою очередь, предполагает вывод разнообразной графической информации: линий, поверхностей, использования различной цветовой палитры. Такие действия во многом типизированы в виде библиотек различных языков программирования.

Выбор программных сред в данной модели обусловлен следующими факторами: необходимостью совмещать типы данных обоих модулей и требованием разработки достаточно полного дружественного интерфейса пользователя, имеющего и текстовую и графическую компоненты. Оболочка программы, доступная пользователю, должна обеспечить общее управление работой приложения, ввод данных, выбор режима работы (двумерная или трёхмерная графика, использование массивов вычисленных ранее значений), вывод рассчитанных характеристик в виде графиков, поверхностей, кривых или элементов анимации.

Изложенные категории информационной модели определяют выбор программных средств её реализации.

Программная реализация. Для реализации вычислительного модуля информационной модели выбрана среда C# [2].

В программе используются алгоритмы для считывания данных, преобразования числовых данных, алгоритмы вычисления рядов, решения уравнений. Вычисленные значения хранятся в виде массивов. Учтена возможность хранения вычисленных значений с целью их возможного дальнейшего использования.

Все функции реализованы на языке C#, в среде Visual Studio 2017, с использованием стандартных библиотек .NET Framework 4.6.

Модуль визуализации реализован на современном объектно-ориентированном языке программирования Java. Особенностью этого языка является его гибкость и непрерывная адаптация к изменениям в среде программирования и подходам к написанию программ [1]. Другим немаловажным фактором, определившим выбор языка, явилось наличие большого количества библиотек для более детальной настройки внешнего вида элементов пользовательского интерфейса и построения 3D-графиков. К таким библиотекам можно отнести Swing, Awt, Swt, JavaFX [3, 4].

Основным средством был выбран набор графических и мультимедийных пакетов JavaFX. Учтено наличие в этом программном продукте набора утилит, которые позволяют сделать инсталлятор .exe или .msi для Windows, .deb или .rpm для Linux, .dmg для Mac. Также свою роль в выборе сыграло наличие поддержки 3D графики.

Средой разработки была определена интегрированная среда разработки программного обеспечения для многих языков программирования, в частности Java.

Заключение. Представлена математическая модель исследуемого процесса, содержащая значительную вычислительную компоненту. Разработана двухмодульная информационная модель, описывающая существенные для данного рассмотрения параметры и переменные величины задачи, связи между ними. Представленная модель реализована в виде компьютерного приложения. Разработан программный комплекс, обеспечивающий наглядную визуализацию результатов численных экспериментов по изучению эффектов влияния параметров экспоненциально-степенной радиальной неоднородности материала волновода на физические характеристики волновых процессов для различных типов задания краевых условий на граничной поверхности, что ценно как в научных исследованиях, так и в учебном процессе.

Предложенная информационная модель может использоваться в учебном процессе при изучении методов компьютерно-математического моделирования. Тексты программ приложения могут быть использованы в таких учебных курсах, как «Численные методы», «Языки и методы программирования», «Современные технологии программирования». Само программное приложение актуально при изучении дисциплин, связанных с механико-математическим моделированием в задачах волновой механики.

Список литературы

1. Шилдт, Герберт Java. Полное руководство, 10-е изд.: Пер. с англ. – СПб. ООО «Альфакнига»; 2018. – 1488 с.: ил. – Парал. тит. англ.
2. <https://introprogramming.info/wp-content/uploads/2013/07/Books/CSharpEn/Fundamentals-of-Computer-Programming-with-CSharp-Nakov-eBook-v2013.pdf>
3. <http://www-igm.univ-mlv.fr/ens/IR/IR1/2011-2012/Java/src/jfreechart-0.9.1-US-v1.pdf>
4. <https://docs.oracle.com/javase/8/javafx/JFXST.pdf>

УДК 62–50:519.7/8

ВЫЧИСЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРВАЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ

Левин В.И., д-р техн. наук, профессор

Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза
vilevin@mail.ru

Задачи, возникающие в современной науке, значительно усложнились, что привело к появлению, наряду с вещественными числами, новых классов чисел: комплексных чисел, гипернионов, неопределенных чисел и т.д. Неопределенные числа предназначены, соответственно, для изучения неопределенных систем. Известно 3 типа неопределенных чисел: случайные, нечеткие и интервальные. Случайные числа задаются объективными вероятностными распределениями их возможных значений. Эти числа изучаются в теории вероятностей. Нечеткие числа задаются субъективно полученными (с помощью экспертов) распределениями их возможных значений и изучаются в теории нечетких множеств. Интервальные числа задаются интервалами их возможных значений, без указания распределения значений внутри интервала; они изучаются в интервальной математике.

Интервальные числа несут минимум информации о неопределенном объекте, который проще всего получить. Отсюда большой интерес, который представляют эти числа для различных приложений. Существует более общий класс неопределенных чисел, чем интервальные числа – так называемые недетерминированные числа. У них также отсутствуют указания о каком-либо распределении значений числа внутри заданной области возможных значений, однако сама область сложнее интервала. Вследствие этой большей, по сравнению с интервальными числами, сложности недетерминированные числа не стали распространенными.

Пусть $u=f(x,y,\dots,z)$ – непрерывная функция от точно известных аргументов x,y,\dots,z . Пусть аргументы определены не полностью, а с точностью до замкнутых интервалов значений $x\in\tilde{x}=[x_1,x_2],\dots,z\in\tilde{z}=[z_1,z_2]$. Тогда значение функции u также окажется определенным не полностью, а

с точностью до интервала возможных значений $u \in \tilde{u} = [u_1, u_2]$. При этом зависимость интервала \tilde{u} значений функции f от интервалов $\tilde{x}, \dots, \tilde{z}$ значений ее аргументов есть некоторая функция F , которая может быть задана с помощью теоретико-множественной конструкции:

$$\tilde{u} = F(\tilde{x}, \tilde{y}, \dots, \tilde{z}) \equiv \{f(x, y, \dots, z) \mid x \in \tilde{x}, y \in \tilde{y}, z \in \tilde{z}\}. \quad (1)$$

Формула (1) означает, что интервальное значение F при интервальных значениях аргументов $\tilde{x}, \tilde{y}, \dots, \tilde{z}$ есть множество значений исходной функции f , когда ее аргументы x, y, \dots, z пробегают множества своих значений соответственно $\tilde{x}, \tilde{y}, \dots, \tilde{z}$. Функция F вида (1) преобразует интервальные значения аргументов в интервальное значение самой функции. Эта функция называется интервальной функцией, а принимаемые ею самой, а также ее аргументами значения – интервальными числами. Далее, по формуле (1), можно ввести конкретные интервальные функции – сложение и вычитание

$$\tilde{u} = \tilde{x} \pm \tilde{y} = \{x \pm y \mid x \in \tilde{x}, y \in \tilde{y}\}, \quad (2)$$

умножение произвольной переменной на постоянную и переменную, а также ее возведение в степень

$$\begin{aligned} \tilde{u} &= k\tilde{x} = \{kx \mid x \in \tilde{x}, k = const\}, \\ \tilde{u} &= \tilde{x}\tilde{y} = \{xy \mid x \in \tilde{x}, y \in \tilde{y}\}, \\ \tilde{u} &= \tilde{x}^n = \{x^n \mid x \in \tilde{x}\} \end{aligned} \quad (3)$$

деление переменных

$$\tilde{u} = \tilde{x}/\tilde{y} = \{x/y \mid x \in \tilde{x}, y \in \tilde{y}\} \quad (4)$$

и т.д. При этом многоместные интервальные функции можно определяются аналогично двухместным. Совокупность этих введенных функций (операций) над интервалами совместно с универсальным множеством, есть интервальная алгебра.

Основная задача интервальной алгебры – это вычисление заданной интервальной функции, т.е. нахождение интервальных значений \tilde{u} функций F (1) по заданным интервальным значениям $\tilde{x}, \tilde{y}, \dots, \tilde{z}$ их аргументов. Это вычисление всегда сводится к вычислению элементарных интервальных функций, выполняемому по соответствующим правилам:

$$\begin{aligned} [x_1, x_2] + [y_1, y_2] &= [x_1 + y_1, x_2 + y_2], \\ [x_1, x_2] - [y_1, y_2] &= [x_1 - y_2, x_2 - y_1], \\ k[x_1, x_2] &= [kx_1, kx_2] \text{ при } k > 0, \\ k[x_1, x_2] &= [kx_2, kx_1] \text{ при } k < 0, \\ [x_1, x_2] \cdot [y_1, y_2] &= [\min_{i,j} (x_i y_j), \max_{i,j} (x_i y_j)], \\ [x_1, x_2] / [y_1, y_2] &= [x_1, x_2] \cdot [1/y_2, 1/y_1]. \end{aligned} \quad (5)$$

Необходимость действий с интервальными числами возникает обычно при вычислении характеристик технических систем с параметрами, заданными с точностью до интервалов. Эти вычисления позволяют анализировать и синтезировать системы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИЙ С НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ МЕТОДОМ РАЗДЕТЕРМИНАЦИИ

Левин В.И., д-р техн. наук, профессор

Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза

vilevin@mail.ru

При моделировании организационно-технических систем в ряде случаев возникают сложности в исследовании функционирования таких систем, если они формализованы на базе аналитико-детерминированных функций. В докладе предлагается новый метод – раздетерминизация, предназначенный для решения задач вычисления детерминированных функций, имеющих так называемые особые точки, в которых у функции не существует определенного значения. Целью является разработка подхода, позволяющего осуществлять деление на нуль и тем самым исключать особые точки исследуемых функций.

Метод, предложенный автором, заключается в переходе от проблематичной, с точки зрения вычисления, детерминированной функции к соответствующей недетерминированной, а именно, интервальной функции, путем замены детерминированных параметров функции соответствующими интервальными параметрами. Благодаря данной замене значения функции в особых точках становятся интервальными и вполне определенными значениями, что и позволяет разрешить проблему вычисления функции. Таким образом, решение этой проблемы достигается легализацией деления на нуль путем интервализации вычислений. При этом используется принцип «вырезания» окрестности нуля из интервала, являющегося делителем интервальной дроби, представляющей исследуемую функцию.

Для упрощенной путем вырезания интервальной функции выведены рабочие формулы, основанные на основных положениях интервальной математики и позволяющие легко найти значения этой функции. Предлагаемый в статье подход к решению проблемы вычисления функций с особыми точками имеет важное значение для всех классов прикладных систем, где эта проблема реально существует. Речь здесь идет о тех системах, функции-характеристики которых имеют некоторое число особых точек. Такие системы встречаются чаще всего в телеметрии, теории и практике надежности, гуманитарной сфере и ряде других областей. Особенности этих областей в том, что в них не всегда применимы классические методы детерминистской математики, что и побуждает искать новые подходы к решению возникающих здесь задач.

Теория вероятностей и математическая статистика

УДК 519.21

ОЦЕНКА СКОРОСТИ СХОДИМОСТИ В ОДНОЙ ПРЕДЕЛЬНОЙ ТЕОРЕМЕ ДЛЯ СТОХАСТИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ИТО

Бондарев Б. В., д-р физ.-мат. наук, профессор,
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
bondarev.mart@gmail.com

Введение. Рассмотрим стохастическое уравнение Ито с малым параметром при коэффициенте сноса

$$dX_\varepsilon(t) = \varphi(\varepsilon)\alpha(X_\varepsilon(t))dt + d\zeta_\varepsilon(t), X_\varepsilon(0) = 0, \quad (1)$$

где $\varepsilon (\varepsilon > 0)$ – малый параметр, $\varphi(\varepsilon) \rightarrow 0, \varepsilon \rightarrow 0$, процесс $\zeta_\varepsilon(t)$ допускает разложение Д.О. Чикина [1]:

$$\zeta_\varepsilon(t) = W_\varepsilon(t) + \rho_\varepsilon(t),$$

где $W_\varepsilon(t)$ – семейство стандартных винеровских процессов, случайный процесс $\rho_\varepsilon(t)$ при $\varepsilon \rightarrow 0$ асимптотически пренебрежимый процесс, а именно выполняется условие

$$M \sup_{0 \leq t \leq T} |\rho_\varepsilon(t)| = \psi(\varepsilon) \rightarrow 0, \varepsilon \rightarrow 0 \quad (2)$$

Наряду с (1) рассмотрим уравнение

$$dY_\varepsilon(t) = \varphi(\varepsilon)\alpha(Y_\varepsilon(t))dt + dW_\varepsilon(t), Y_\varepsilon(0) = 0, \quad (3)$$

Цель – найти скорость сходимости решения уравнения (1) к решению уравнения (3).

Основная часть. Справедлив следующий результат:

Теорема 1.

Предположим, что выполнены условия

$$|\alpha(y) - \alpha(x)| \leq L|y - x|, 0 < L < +\infty, |\alpha(x)| \leq C < +\infty,$$

$$M \sup_{0 \leq t \leq T} |\rho_\varepsilon(t / \varphi^2(\varepsilon))| \exp\left\{\frac{TL}{\varphi(\varepsilon)}\right\} + M \sup_{0 \leq t \leq T} |\rho_\varepsilon(t / \varphi^2(\varepsilon))| \rightarrow 0, \varepsilon \rightarrow 0 \quad (4)$$

Тогда справедлива оценка

$$M \sup_{0 \leq t \leq T} |\varphi(\varepsilon)X_\varepsilon(t / \varphi^2(\varepsilon)) - \varphi(\varepsilon)Y_\varepsilon(t / \varphi^2(\varepsilon))| \leq \\ \leq L \exp\left\{\frac{TL}{\varphi(\varepsilon)}\right\} \varphi^2(\varepsilon) \int_0^{T/\varphi^2(\varepsilon)} M |\rho_\varepsilon(t)| dt + \varphi(\varepsilon) M \sup_{0 \leq t \leq T} |\rho_\varepsilon(t / \varphi^2(\varepsilon))| \rightarrow 0, \varepsilon \rightarrow 0 \quad (5)$$

Неравенство (5) вытекает из следующих рассуждений. Пусть

$$Z_\varepsilon(t) = \varphi(\varepsilon)X_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon)), \xi_\varepsilon(t) = \varphi(\varepsilon)Y_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon)), \tilde{W}_\varepsilon(t) = \varphi(\varepsilon)W_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon)),$$

$$Z_\varepsilon(t) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon)) =$$

$$= \int_0^t [\alpha(1/\varphi(\varepsilon))(Z_\varepsilon(s) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))) + \rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))] - \alpha(1/\varphi(\varepsilon))(Z_\varepsilon(s) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))) ds +$$

$$+ \int_0^t \alpha(1/\varphi(\varepsilon))(Z_\varepsilon(s) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))) ds + \tilde{W}_\varepsilon(t)$$

$$Z_\varepsilon(t) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon)) - \varphi(\varepsilon)Y_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon)) =$$

$$= \int_0^t [\alpha(1/\varphi(\varepsilon))(Z_\varepsilon(s) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))) + \rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))] - \alpha(1/\varphi(\varepsilon))(Z_\varepsilon(s) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))) ds +$$

$$+ \int_0^t \alpha(1/\varphi(\varepsilon))(Z_\varepsilon(s) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))) ds - \int_0^t \alpha(1/\varphi(\varepsilon))Y_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon)) ds$$

$$Z_\varepsilon(t) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon)) - \varphi(\varepsilon)Y_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon)) =$$

$$= \int_0^t [\alpha(1/\varphi(\varepsilon))(Z_\varepsilon(s) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))) + \rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))] - \alpha(1/\varphi(\varepsilon))(Z_\varepsilon(s) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))) ds +$$

$$+ \int_0^t \alpha(1/\varphi(\varepsilon))(Z_\varepsilon(s) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))) ds - \int_0^t \alpha(1/\varphi(\varepsilon))Y_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon)) ds$$

$$|Z_\varepsilon(t) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon)) - \varphi(\varepsilon)Y_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon))| \leq L/\varphi(\varepsilon) \int_0^t |Z_\varepsilon(s) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon)) - \varphi(\varepsilon)Y_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))| ds +$$

$$+ L \int_0^t |\rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))| ds$$

$$\sup_{0 \leq t \leq T} |Z_\varepsilon(t) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon)) - \varphi(\varepsilon)Y_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon))| \leq L \int_0^T |\rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))| ds \exp\{LT/\varphi(\varepsilon)\}$$

Откуда следует

$$\begin{aligned} M \sup_{0 \leq t \leq T} |Z_\varepsilon(t) - \varphi(\varepsilon)\rho_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon)) - \varphi(\varepsilon)Y_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon))| &\leq \\ &\leq L \int_0^T M |\rho_\varepsilon(s/\varphi^2(\varepsilon))| ds \exp\{LT/\varphi(\varepsilon)\} \end{aligned} \quad (6)$$

Из (6) следует соотношение (5). Теорема 1 доказана.

Остаётся выяснить, насколько естественны приведённые в теореме 1 достаточные условия. В ряде случаев они достаточно просто проверяемы. Предположим, что коэффициент сноса $\alpha(x) - 1$ – периодическая функция. Тогда очевидно, что процесс $\xi_\varepsilon(t) = \varphi(\varepsilon)Y_\varepsilon(t/\varphi^2(\varepsilon))$ удовлетворяет уравнению

$$d\xi_\varepsilon(t) = \alpha\left(\frac{\xi_\varepsilon(t)}{\varphi(\varepsilon)}\right) dt + d\tilde{W}_\varepsilon(t), \xi_\varepsilon(0) = 0 \quad (7)$$

Как показано в [2], в этом случае предельным в смысле слабой сходимости вероятностных мер для решения (7) будет решение усреднённого уравнения

$$d\xi_0(t) = \bar{\alpha}dt + dW(t), \xi_0(0) = 0 \quad (8)$$

Здесь $W(t)$ – стандартный винеровский процесс, величина $\bar{\alpha} = \int_0^1 \alpha(x)dx$, так как в этом случае эргодическим распределением будет равномерное на $[0,1]$ распределение. В работе [3] установлена оценка скорости сходимости.

Заключение. Уравнениями вида (3) занимались многие авторы (см., например, [2, 3]). Именно в работе [3] установлена оценка сближения процессов

$$\sup_{0 \leq t \leq T} M \left| \varphi(\varepsilon) \xi_\varepsilon(t / \varphi^2(\varepsilon)) - \xi_0(t) \right| \leq r(\varepsilon) \rightarrow 0, \varepsilon \rightarrow 0, \quad (9),$$

причём функция $r(\varepsilon)$ выписывается в явном виде. В ряде случаев разложение Д.О.Чикина легко выписывается и можно найти соответствующие оценки скорости убывания. Например верна следующая телрема.

Теорема 2. Пусть $\xi(t), t \geq 0$ -процесс Орнштейна-Уленбека. Тогда справедливо разложение $\zeta_\varepsilon(t) = \sqrt{\varepsilon} \int_0^{t/\varepsilon} \xi(s)ds = \frac{\sigma}{\gamma} \sqrt{\varepsilon} W(t/\varepsilon) + \rho_\varepsilon(t)$ причём

$$P \left\{ \sup_{0 \leq t \leq T} |\rho_\varepsilon(t)| > \delta \right\} \leq 2 \frac{1}{\varepsilon} \exp \left\{ -\frac{\delta^2 \gamma^2}{\varepsilon \sigma^2 16} [\ell^{2\gamma T} - 1]^{-1} \right\} +$$

$$+ 2 \left(\frac{1}{\varepsilon} + 1 \right) \left[\frac{\delta}{4\sigma\sqrt{\varepsilon}} \sqrt{2\gamma\gamma} \right]^{-1} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{\delta}{4\sigma\sqrt{\varepsilon}} \sqrt{2\gamma\gamma} \right]^2 \right\}$$

Из последнего нетрудно вытянуть необходимые оценки скорости убывания.

Список литературы

1. Функциональная предельная теорема для стационарных процессов. Мартингальный подход / Д.О. Чикин // Теория вероятностей и её применения. – Москва: «Наука», 1989. – Т. 34, вып. 4. С.731-741.
2. Задача Дирихле для уравнения с периодическими коэффициентами, зависящими от малого параметра / М.И. Фрейдлин // Теория вероятностей и её применения. – Москва: «Наука», 1964. – Т. 9, вып. 1. – С.133-139.
3. Оценка скорости сходимости в обратной задаче Коши с быстро осциллирующими периодическими коэффициентами / Б.В. Бондарев, С.М. Козырь // Труды Института прикладной математики и механики НАН Украины. — Донецк: ИПММ НАН Украины, 2008. — Т. 17. — С. 15-24.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ГРУППОВОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАПИТАЛА КОМПАНИИ НА ФИНАНСОВОМ (B,S)-РЫНКЕ С ОПИСЫВАЕМОЙ МОДЕЛЬЮ ОРНШТЕЙНА-УЛЕНБЕКА ЦЕНОЙ РИСКОВОГО АКТИВА

Александрова О.В., канд. физ.-мат. наук, доцент,

Жмыхова Т.В., канд. физ.-мат. наук, доцент

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
г. Макеевка

alexand_olga_la@mail.ru, zhmykhovatanya@mail.ru

Введение. Современный финансовый рынок характеризуется повышенным уровнем неопределенности, активности взаимодействующих элементов, их нелинейными отношениями, асимметричностью и неравновесностью [1] и, поскольку для экономики развитых стран характерна инвестиционная деятельность компаний, соизмеримая с работой крупных кредитно-финансовых учреждений, то от руководства компании требуется сбалансированное финансовое администрирование на всех уровнях принятия управленческих решений, что обуславливает в свою очередь выбор соответствующей модели, которая позволит определить характер и тип поведения инвестора на финансовом рынке. Предметом изучения данной работы является капитал компании, причем цена рискованного актива описывается моделью Орнштейна–Уленбека, безарбитражность которой была доказана в [2].

Цель работы методами группового анализа стохастических дифференциальных уравнений найти в явном виде решение уравнения, описывающего динамику капитала компании, инвестирующей на заданный финансовый рынок.

Основная часть. Пусть задан финансовый (B,S) -рынок, состоящий из двух активов безрискового (банковского счета) и рискованного актива (акции). Цена безрискового актива описывается уравнением:

$$dB(t) = rB(t)dt, B(0) > 0, \quad (1)$$

где $r(r > 0)$ – процентная ставка или банковский процент, $B(0)$ – сумма на депозите в начальный момент времени. Цена рискованного актива описывается моделью, заданной на стандартном вероятностном пространстве $(\Omega, \mathfrak{F}, P)$, которая имеет вид:

$$S(t) = S(0) \left(\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) t + \sigma \eta(t) \right),$$

где $\eta(t), t \geq 0$ – процесс Орнштейна–Уленбека

$$d\eta(t) = -\gamma\eta(t)dt + \sigma dW(t), \eta(0) = 0.$$

Тогда

$$dS(t) = S(t)((\mu - \gamma\eta(t))dt + \sigma dW(t)), \quad (2)$$

где $W(t)$ – стандартный винеровский процесс.

Пусть компания, имеющая на момент времени t капитал $X_x(t)$ ($X(0) = x$), делает инвестиции на финансовый (B, S) –рынок, цены на котором описываются уравнениями (1) и (2), причем $uX_x(t)$, $0 < u < 1$ – часть капитала, которую компания инвестирует в акции, соответственно $(1-u)X_x(t)$ – часть капитала, размещаемая компанией на банковском депозите. За владение акцией осуществляется выплата дивидендов D со скоростью $\delta uS(t)$, $0 \leq \delta < r$ – пропорциональной рискованной составляющей капитала [1], а именно:

$$dD(t) = \delta udt. \quad (3)$$

Считаем, что компания работает только с собственным капиталом, привлечение средств извне не рассматривается. Если в момент времени t цена акции составляет $S(t)$, тогда на сумму $uX_x(t)$ можно будет купить $\frac{uX_x(t)}{S(t)}$ акций.

Учитывая доход от инвестиционной деятельности на (B, S) – рынке, уравнение, описывающее динамику капитала компании, имеет вид:

$$dX_x(t) = udB(t) + (1-u)dS(t) + dD(t), \quad (4)$$

или, учитывая (1), (2) и (3), уравнение (4) можно переписать в виде:

$$dX_x(t) = X_x(t)(u(\mu + \delta) + (1-u)r - u\gamma\eta(t))dt + uX_x(t)\sigma dW(t). \quad (5)$$

В статье [3] показано, что решение уравнения (5) существует. Будем искать решение уравнения (5) методами группового анализа стохастических дифференциальных уравнений. Эти методы уже были нами рассмотрены в статьях [4–5].

В статье [6] была проведена групповая классификация линейного стохастического дифференциального уравнения общего вида относительно коэффициентов, входящих в это уравнение. В частности, было показано, что уравнение вида

$$du(t) = b udt + \sigma u dW(t)$$

допускает трехмерную алгебру Ли с операторами

$$X_1 = \partial_t, \quad X_2 = t\partial_t + \frac{u}{2} \left(\ln(\sigma u) + \left(b - \frac{\sigma^2}{2} \right) t \right) \partial_u, \quad X_3 = \sigma u \partial_u.$$

Используя оператор X_2 , можем выписать явное решение уравнения (5).

Заключение. В данной работе методами группового анализа стохастических дифференциальных уравнений найдено в явном виде решение уравнения, описывающего динамику капитала компании,

инвестирующей на заданный финансовый (B, S) - рынок, причем эволюция цены рискованного актива описывается моделью Орштейна-Уленбека.

Список литературы

1. Бирюков Е.С. Особенности выбора модели поведения инвестора на финансовом рынке в современных условиях/ Е.С. Бирюков // Вестник Челябинского государственного университета. Экономика. – 2015. – №11, Вып. 49. – С. 77-83.
2. Бондарев Б.В. Процесс Орштейна –Уленбека и его применения в задачах финансовой математики/ А. В. Баев, Б. В. Бондарев // Прикладная статистика. Актуарная и финансовая математика. – 2002. - №1, С. 3-28.
3. Бондарев Б.В. О вероятности банкротства страховой компании, функционирующей на (B, S) рынке /А.В. Баев, Б.В. Бондарев//Теория вероятностей и математическая статистика. – 2006. – Вып. 74. – С. 10-22.
4. Alexandrova O. V. Group analysis of the Ito Stochastic system / Olga V. Alexandrova // Differential Equations and Dynamical Systems. – 2006. – Vol. 14, № 3/4. – P.255 – 279.
5. Александрова О.В. Нахождение капитала страховой компании, работающей на финансовом рынке, методами группового анализа / О.В. Александрова, Т.В. Жмыхова // Вестник ВГУ. Серия: Физика, Математика. – 2015. – № 3. – С. 64 -72.
6. Alexandrova O. V. Group classification of the linear stochastic differential Ito equation / O. V. Alexandrova //Vestnik of Donetsk National University. Seria A. Natural sciences. – 2014. – Vol. 2. – P. 26-31.

УДК 519.22

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МЕДИАННОГО КРИТЕРИЯ В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Золотой А.Л.¹,

Золотая А.В.², канд. физ.-мат. наук,

¹ГУ «Донецкий ботанический сад», г. Донецк, ДНР

²ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

aelita.z@mail.ru

Введение. В связи с все более нарастающими темпами развития наук и информационных технологий, а также их объединением (конвергенцией) все более актуальными становятся практические исследования, совмещающие в себе методы из разных научных областей. Классическим примером такого подхода служит использование методов математической статистики в естественных науках. Конкретно в данной работе используется непараметрический критерий для анализа геоэкологических данных. Выбор именно такого подхода к анализу связан с особенностями выборок ландшафтных данных – очень часто они имеют распределение, отличное от нормального [1, 2]. Что касается общего понятия

непараметрических критериев, то под ним подразумевается группа статистических критериев, которые не включают в расчёт параметры вероятностного распределения и основаны на оперировании частотами или рангами.

Несмотря на имеющийся теоретический арсенал данных критериев и современные возможности их проверки с помощью компьютерных программ, исследования такого рода для получения научно обоснованных выводов в естественных науках встречаются редко, в связи с чем вызывают практический интерес.

Цель работы – проверить гипотезу о том, что все совокупности, из которых получены выборки, имеют одинаковый закон распределения.

Основная часть. Для проведения статистической обработки были заданы данные наблюдений площадей (в га) участков степей Шахтёрского и Амвросиевского районов Донецкой области (в дальнейшем районов 1 и 2), и данные наблюдений площадей лесов тех же районов. Исходная информация была получена с помощью программного комплекса QGIS 3.4 с использованием мультиспектральных карт спутников Sentinel-2.

Исследования проводились по плану:

- 1) проведена проверка данных на соответствие нормальному распределению в программе Microsoft Office Excel, как это предлагалось в [3, 4]. Получены выводы о том, что ни одна из выборок не подчиняется нормальному закону распределения;
- 2) найдены некоторые базовые характеристики выборок (табл. 1);

Таблица 1

Характеристика выборки	Выборка степных участков 1	Выборка степных участков 2	Выборка лесных участков 1	Выборка лесных участков 2
Среднее	1,52603399	2,238524	0,551717902	0,92031397
Вариационный размах	28,4560391	40,79326	4,86237917	22,3999962
Дисперсия	7,78166311	22,3120613	0,585670377	5,11690754
Стандартная ошибка среднего	0,18514981	0,47235645	0,058695144	0,15216251
Медиана	0,723154809	0,79872	0,260459118	0,22412294
Объём выборки	227	100	170	221

- 3) построена диграмма размаха выборок – так называемые «ящики с усами» или boxplots (рис. 1);
- 4) Проведены исследования с помощью медианного критерия для случая двух выборок.

Необходимые сведения. Назначение: используют для проверки принадлежности к выборкам к одной генеральной совокупности.

Нулевая гипотеза: все совокупности, из которых получены выборки, имеют одинаковый закон распределения; следовательно, медианы выборок одинаковы.

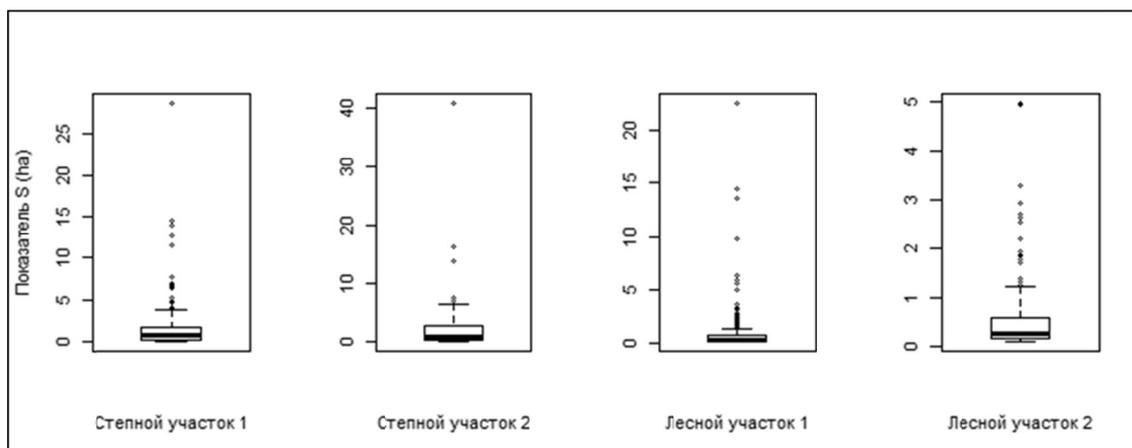


Рис. 1. Диаграмма размаха выборок

Предпосылки: все случайные величины взаимно независимы. Наблюдения, входящие в одну выборку, принадлежат к одной генеральной совокупности.

Исследования: сначала находим медиану для каждой выборки и после этого формируем таблицы 2-3.

Таблица 2

	Выборка степных участков 1	Выборка степных участков 2	Всего
Число наблюдений, которые больше медианы	$L_1=114$	$L_2=50$	$L_1+L_2=164$
Число наблюдений, которые меньше медианы	$n_1-L_1=113$	$n_2-L_2=50$	$n-L_1-L_2=163$
Всего	$n_1=227$	$n_2=100$	$n=327$

Таблица 3

	Выборка лесных участков 1	Выборка лесных участков 2	Всего
Число наблюдений, которые больше медианы	$L_1=85$	$L_2=110$	$L_1+L_2=195$
Число наблюдений, которые меньше медианы	$n_1-L_1=85$	$n_2-L_2=111$	$n-L_1-L_2=196$
Всего	$n_1=170$	$n_2=221$	$n=391$

Затем вычисляем ожидаемое число наблюдений для каждой клетки. Для этого элемент строки «Всего» умножаем на элемент столбца и делим на общее число наблюдений n . Далее вычисляем расчётное значение критерия по формуле:

$$\chi^2 = \sum (\text{наблюдаемое значение} - \text{ожидаемое значение})^2 / \text{ожидаемое значение}.$$

Сумма находится по всем $2k = 4$ клеткам таблицы. Если расчётное значение χ^2 больше верхнего критического значения распределения хи-квадрат, взятого с выбранным уровнем значимости $\alpha=0,05$ и числом

степеней свободы $k-1=1$, то гипотеза о равенстве средних отвергается. В нашем случае $\chi^2_{\text{крит}} = 3,841458821$. Что касается расчетных значений, то для степных участков получаем $\chi^2 = 163,5107$; для лесных участков получаем соответственно $\chi^2 = 195,5013$.

Заключение. Таким образом, получены следующие результаты: гипотеза о равенстве средних отвергается в обоих случаях.

Список литературы

1. Владимирский Б. М. Математические методы в биологии. – Ростов: изд-во Ростов. ун-та. – 1983. – 304 с.
2. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. – Минск: Высшая школа. – 1973. – 320 с.
3. Статистические методы в биологических исследованиях, Часть 1. Теория и практика. Для студентов специальностей “Экология”, “Биофизика” // Сост. О. И. Доценко, Г. В. Тарадина. – Донецк, ДонНУ, 2009. – 91 с.
4. Лапач С. Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / С. Н. Лапач, А. В. Чубенко, П. Н. Бабич. – Киев, «Морион», 2001. – 408 с.

УДК 519.21

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИННОВАЦИОННОМ МЕНЕДЖМЕНТЕ

Ковальчук И.С.,

Шурко И.Л., канд. физ.-мат. наук, доцент

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

irakovalchuk2809@mail.ru, shurko.i.l@mail.ru

Введение. Актуальность использования статистических методов в различных отраслях современного менеджмента непрерывно возрастает. Это вызвано развитием рыночных отношений, конкурентной борьбой на рынках товаров и услуг, требованиями стандартов. Статистические методы являются универсальным инструментом в инновационном менеджменте.

Цель – изучение и практическая реализация статистических методов в конкретно поставленной задаче.

Основная часть. Рассмотрим инновационный проект: планируется создание мини-завода по производству безлинкерного (шлакощелочного) вяжущего из шлака металлургических комбинатов. В 1980-х годах, разработанная профессором Глуховским В.Д., эта технология была применена на многих заводах СССР. Однако после 1991г. она была незаслуженно забыта. На сегодняшний день данная технология производства шлакощелочного бетона на основе доменного

гранулированного шлака все еще не теряет своей актуальности. Прежде всего эта технология не предусматривает выбросы углекислого газа в атмосферу, в ней не используются традиционные дорогостоящие вяжущие, такие, как портландцемент, а физико-химические свойства шлакощелочных цементов позволяют считать их прогрессивными, высокоэффективными строительными материалами не только настоящего, но и будущего.

На первом этапе статистического анализа целесообразно оценить риски, используя экспертный метод. Преимущество указанного метода заключается в его осуществимости при наличии малого количества и высокой степени неопределенности информации, когда невозможно учесть влияние многих факторов из-за значительной сложности объекта прогнозирования [1]. Всего было выделено четыре основных группы факторов риска: риски внутри научно-исследовательского института, риск партнера, риск, связанный с конкурирующими фирмами и макроэкономический риск. Каждый фактор имеет группу своих «подфакторов» с соответствующими коэффициентами весомости. Для каждой группы рисков имеем значения коэффициентов значимости и гипотетические групповые оценки экспертов.

После подсчетов вероятность успешного осуществление проекта составила 0,07, т.е. имеется лишь примерно 1 шанс из 14, что рассматриваемый инновационный проект будет успешно завершен в намеченные сроки и с запланированным экономическим эффектом.

Затем применили метод имитационного моделирования анализа рисков инвестиционного проекта – метод Монте-Карло. Имитационное моделирование является одним из мощнейших методов анализа экономических систем. Данный метод особенно удобен для практического применения тем, что удачно сочетается с другими экономико-статистическими методами, а также с теорией игр и другими методами исследования операций [2]. Определили ключевые факторы инновационного проекта – объем выпуска, стоимость тонны продукции и переменные затраты. Методом экспертных оценок специалистами предприятия были определены оптимистические и пессимистические, по сравнению с реальным, варианты развития событий. На основе выбранного распределения провели имитации ключевых факторов (процесс имитации осуществляется таким образом, чтобы случайный выбор значений из определённых вероятностных распределений не нарушал отношений корреляции среди переменных), экономико-статистический анализ, рассчитали значения чистой приведенной стоимости.

Основываясь на морфологическом методе прогнозирования получили возможные итоги воплощения программы по выпуску продукции. С его помощью выявляют структуру объекта прогнозирования и оценку возможных значений ее элементов. Прогнозирование эффективности

инноваций базируется на анализе соотношения предполагаемых затрат и ожидаемой выгоды [3].

Таким образом, с помощью указанных методов анализа рисков проекта, можно глубже понять содержание проблемы и выбрать наиболее удачное решение, учитывая средства и методы, причины и последствия. Эффективность применения данных статистических технологий обусловлена также тем, что они могут быть легко реализованы обычными пользователями ПК в среде EXCEL.

На завершающем этапе провели полный факторный эксперимент влияния производственных факторов на прочность шлакощелочного вяжущего при известных номинальных значениях факторов. Обработка и анализ численных экспериментов проведены с помощью прикладного пакета STATGRAF. Построенную математическую модель можно использовать для проведения анализа реальной системы, выявления оптимальных параметров и условий протекания процесса с целью снижения затрат и получения желаемого качества выходного продукта [4].

Заключение. В работе были применены различные статистические методы. Проведенный анализ показал, что шлак металлургических комбинатов подходит для изготовления шлакощелочного вяжущего и реализация программы по его выпуску является прибыльной.

Статистические методы все шире проникают в экономическую практику. С развитием компьютеров, распространением пакетов прикладных программ эти методы вышли за стены учебно- и научно-исследовательских институтов. Они стали важным инструментом в деятельности аналитических, плановых, маркетинговых отделов различных фирм и предприятий.

Список литературы

1. Орлов А.И., Луценко Е.В., Лойко В.И. Организационно-экономическое, математическое и программное обеспечение контроллинга, инноваций и менеджмента. Научная монография. Под общ. ред. С. Г. Фалько. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 600 с.
2. Соболев И.М. Метод Монте-Карло / И.М. Соболев. – Москва: Наука, 2012. – 191 с.
3. Организационно-экономические подходы к оценке реализуемости инновационно-инвестиционных проектов [электронный ресурс] – режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/13.pdf>
4. Сидняев Н.И. Статистический анализ и теория планирования эксперимента. Москва: Юрайт, 2017. – 195 с.

О МЕТОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ ГАРАНТИРОВАННОГО ОЦЕНИВАНИЯ НЕИЗВЕСТНОГО ПАРАМЕТРА, ЛИНЕЙНО ВХОДЯЩЕГО В СНОС СТОХАСТИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ПЕРИОДИЧЕСКОМ ЗАШУМЛЕНИИ

Мельничук Н.Ю.,

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
nata-250396@yandex.ru

Введение. Наблюдение за процессами трудоемкий и затратный по времени процесс. Естественным образом возникает задача построения неравенства для вероятности отклонения оценки неизвестного параметра, которое входит в коэффициенты стохастического дифференциального уравнения, от его действительного значения. Это позволяет заранее «предсказать» результаты наблюдений и сократить количество опытов. Актуальность работы заключается в том, что оценки, полученные и представленные в ней, имеют применение и могут быть использованы для конкретных практических задач. Рассматривается дифференциал:

$$d\xi_{\theta_0}(t) = \theta_0 a(\eta(t))dt + \sigma(\eta(t))dW_1(t) \quad (1)$$

где θ_0 – неизвестный параметр, $\theta_0 \in \Theta$, Θ – некоторое ограниченное параметрическое множество; $\eta(t)$ – стационарное решение уравнения:

$$d\eta(t) = \alpha(\eta(t))dt + \beta(\eta(t))dW_2(t), \quad (2)$$

Коэффициенты [1] $a(x), \sigma(x), \alpha(x), \beta(x)$ – ограниченные, 1-периодические функции, имеющие производные первого порядка, удовлетворяющие условию Гёльдера.

$$\alpha(x) = \alpha(x+1), \beta(x) = \beta(x+1), |\alpha(x)| \leq K < +\infty, 0 < \lambda \leq \beta^2(x) \leq K < +\infty,$$

$$|a(x)| \leq K < +\infty, 0 < \lambda \leq \sigma^2(x) \leq K < +\infty$$

$$|\alpha(x) - \alpha(y)| + |\beta(x) - \beta(y)| + |a(x) - a(y)| + |\sigma(x) - \sigma(y)| \leq L|x - y|,$$

$W_1(t)$ и $W_2(t)$ – независимые друг от друга винеровские процессы.

Из работы [2] следует, что у процесса $\eta(t)$ существует эргодическое распределение. Вводим функцию:

$$G_0(x) = \frac{2}{(1 + \mathcal{G}(1))\beta^2(x)\mathcal{G}(x)} \left[\mathcal{G}(1) \int_0^x \mathcal{G}(y)dy + \int_x^1 \mathcal{G}(y)dy \right], \quad (3)$$

где $\mathcal{G}(x) = \exp \left\{ - \int_0^x \frac{2\alpha(y)}{\beta^2(y)} dy \right\}$.

Заметим, что введенная функция $G_0(x)$ – периодическая с периодом 1 функция. Плотность эргодического распределения процесса $\eta(t)$:

$$\rho(x) = G_0(x) \left[\int_0^1 G_0(y) dy \right]^{-1}. \quad (4)$$

Цель – по наблюдаемой траектории $\xi_{\theta_0}^T = \{\xi_{\theta_0}(t) : 0 \leq t \leq T\}$ требуется построить интервал накрытия неизвестного параметра θ_0 с гарантированной вероятностью накрытия. Ширина этого интервала и вероятность накрытия будут функциями параметра T . Вопросом оценки неизвестных параметров в снос стохастического дифференциального уравнения посвящено значительное число исследований: работы [1, 3–7]. Нами рассмотрен случай с неизвестным параметром, линейно входящем в снос стохастического дифференциала с периодическими коэффициентами при внутреннем периодическом зашумлении.

Основная часть. Исходя из принципов работы [3], оценка максимального правдоподобия неизвестного параметра имеет вид:

$$\theta_T = \int_0^T \frac{a(\eta(t))}{\sigma(\eta(t))} d\xi_{\theta_0}(t) \times \left(\int_0^T \frac{a^2(\eta(t))}{\sigma^2(\eta(t))} dt \right)^{-1}. \quad (5)$$

$$P\{\sqrt{T}|\theta_T - \theta_0| > R\} = P\{\sqrt{T}(\theta_T - \theta_0) > R\} + P\{-\sqrt{T}(\theta_T - \theta_0) > R\}.$$

Оценим первое слагаемое из правой части (5) следующим образом:

$$P\{\sqrt{T}(\theta_T - \theta_0) > R\} = P\left\{ \sqrt{T} \int_0^T \frac{a(\eta(t))}{\sigma(\eta(t))} dW_1(t) > R \int_0^T \frac{a^2(\eta(t))}{\sigma^2(\eta(t))} dt \right\}. \quad (6)$$

Возьмем $z > 0$ и перепишем равенство (6) в виде:

$$\begin{aligned} P\{\sqrt{T}(\theta_T - \theta_0) > R\} &= P\left\{ \frac{z}{\sqrt{T}} \int_0^T \frac{a(\eta(t))}{\sigma(\eta(t))} dW_1(t) > Rz \frac{1}{T} \int_0^T \frac{a^2(\eta(t))}{\sigma^2(\eta(t))} dt \right\} \leq \\ &\leq P\left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{a^2(\eta(t))}{\sigma^2(\eta(t))} dt \leq \varepsilon^2 \right\} + P\left\{ \frac{z}{\sqrt{T}} \int_0^T \frac{a(\eta(t))}{\sigma(\eta(t))} dW_1(t) - \frac{1}{2} \left(\frac{z}{\sqrt{T}} \right)^2 \int_0^T \frac{a^2(\eta(t))}{\sigma^2(\eta(t))} dt > \left(Rz - \frac{z^2}{2} \right) \varepsilon^2 \right\}. \\ P\left\{ \exp\left\{ \frac{z}{\sqrt{T}} \int_0^T \frac{a(\eta(t))}{\sigma(\eta(t))} dW_1(t) - \frac{1}{2} \left(\frac{z}{\sqrt{T}} \right)^2 \int_0^T \frac{a^2(\eta(t))}{\sigma^2(\eta(t))} dt \right\} > \exp\left\{ \left(Rz - \frac{z^2}{2} \right) \varepsilon^2 \right\} \right\} &\leq \exp\left\{ -\frac{R^2}{2} \varepsilon^2 \right\}. \quad (7) \end{aligned}$$

Таким образом, при некотором $z^* = R$ и некотором малом $\varepsilon > 0$ построен доверительный интервал для θ_0 :

$$P\{\sqrt{T}|\theta_T - \theta_0| > R\} \leq 2 \exp\left\{ -\frac{R^2 \varepsilon^2}{2} \right\} + 2P\left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{a^2(\eta(t))}{\sigma^2(\eta(t))} dt \leq \varepsilon^2 \right\}. \quad (8)$$

Для построения оценки малых уклонений введем

$$\bar{\delta}^2 = \int_0^1 \frac{a^2(y)}{\sigma^2(y)} \rho(y) dy, \quad (9)$$

где $\rho(y)$ – плотность эргодического распределения, выраженная формулой (4). Перейдём к центрированным величинам:

$$P\left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{a^2(\eta(t))}{\sigma^2(\eta(t))} dt \leq \varepsilon^2 \right\} = P\left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{a^2(\eta(t))}{\sigma^2(\eta(t))} - \bar{\delta}^2 \right] dt \leq \varepsilon^2 - \bar{\delta}^2 \right\}. \quad (10)$$

Далее обозначим $\bar{\delta}^2 - \frac{a^2(\eta(t))}{\sigma^2(\eta(t))} = X(t)$, $MX(t) = 0$. Как показано в [2], $X(t)$

является стационарным марковским процессом, удовлетворяющим условию равномерно сильного перемешивания [8] с коэффициентом перемешивания $\varphi(\tau) = 2Ce^{-r\tau}$, где постоянные выписаны в явном виде. Воспользовавшись приемами работы [9] и некоторыми математическими методами, в результате можем получить хорошую степень убывания экспоненты. Таким образом, при $r(T) = T^\beta$, где $0 < \beta < 1$, получаем экспоненциально быстрое убывание справа, что позволяет говорить о хорошей построенной оценке для вероятности: $P\left\{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{a^2(\eta(t))}{\sigma^2(\eta(t))} dt \leq \varepsilon^2\right\}$.

Заключение. Рассмотрена задача оценки неизвестного параметра, линейно входящего в коэффициент сноса стохастического дифференциала с периодическими коэффициентами при внутреннем периодическом зашумлении. По методу оценки максимального правдоподобия построен доверительный интервал для неизвестного параметра с гарантированным интервалом накрытия и заданной наперед надежностью.

Список литературы

1. Бондарев Б. В. Оценка неизвестного параметра в системах со слабым сигналом / Б. В. Бондарев, С. М. Козырь // Кибернетика и системный анализ. – 2011. – № 3. – С. 109–117.
2. Бондарев Б.В. Перемешивание «по Ибрагимову». Оценка скорости сближения семейства интегральных функционалов от решения дифференциального уравнения с периодическими коэффициентами с семейством винеровских процессов. Некоторые приложения. I / Б.В. Бондарев, С.М. Козырь // Украинский математический журнал. – 2010. – Т.62, №6. – С. 733–753.
3. Ибрагимов И.А. Асимптотическая теория оценивания / И. А. Ибрагимов, Р. З. Хасьминский – М.: Наука, 1979. – 528 с.
4. Липцер Р.Ш. Статистика случайных процессов / Р.Ш. Липцер, А. Н. Ширяев – М.: Наука, 1974. – 696 с.
5. Линьков Ю.Н. Асимптотические методы статистики случайных процессов / Ю. Н. Линьков – Киев: Наукова Думка, 1993. – 254 с.
6. Бондарев Б.В. Об оценке неизвестного параметра в слабом сигнале / Ю.О. Курилина, Б.В. Бондарев // Донецкие чтения 2017: Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса: Материалы Международной научной конференции студентов и молодых ученых (Донецк, 17-20 октября 2017 г.). – Том 1: Физико-математические и технические науки / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2017. – С. 84-86.
7. Бондарев Б.В. Оценка неизвестного параметра в системах со слабым сигналом при внутреннем и внешнем зашумлениях / Ю.О. Курилина, Б.В. Бондарев // Вестник ДонНУ. – Сер.А: Естественные науки. – 2017. – № 3. – С. 3-11.
8. Ибрагимов И.А., Линник Ю.В. Независимые и стационарно связанные величины. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
9. Биллингсли П. Сходимость вероятностных мер / перев. с англ. Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука» М., 1977. – 352 с.

Технологии обучения в высшей профессиональной школе

УДК 004.9

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДИСТАНЦИОННОГО КУРСА «СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Авдюшина Е.В., канд. физ.-мат. наук, доцент,
Бартошик Н.В.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
kf.tuvm@donnu.ru

Введение. Дистанционное обучение – это получение образования с использованием интернета и современных информационных и телекоммуникационных технологий. Эта форма обучения сегодня предоставляет возможность создания системы непрерывного обучения, обмена информацией, независимо от места нахождения обучающегося [1]. В этой связи представляется перспективным разработка и внедрение электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Современные компьютерные технологии».

Целью работы являются классификация и архитектура электронных обучающих комплексов, разработка информационной модели электронного обучающего комплекса, разработка теоретического и практического материала, создание тестов для контроля усвоения материала по курсу «Современные компьютерные технологии», сравнительный анализ технологий ADO.Net и LINQ по обработке и доступу к информации.

Основная часть. В системе дистанционного обучения Moodle [2] был разработан электронный учебный курс по дисциплине «Современные компьютерные технологии» для студентов магистратуры по специальности «Прикладная математика и информатика». Освоение дисциплины основано на следующих элементах: теоретическая часть (лекция); лабораторные занятия; индивидуальная работа; промежуточный тестовый контроль; экзамен. В информационной модели используются циклические алгоритмы, подразумевающие неоднократный возврат к блокам учебного материала, который недостаточно изучен обучающимся.

На главной странице курса размещены такие разделы: форум; полезная информация (гlossарий, учебная и методическая литература, контрольные вопросы к промежуточной аттестации и экзамену); методические рекомендации по организации СРС (темы рефератов, требования к реферату, хранилище и оценка рефератов); индивидуальные

задания (индивидуальная работа); четыре темы (лекции, лабораторные работы, тесты).

Весь учебный курс разбит на четыре темы, включающие лекции, лабораторные работы и тесты. Доступ к новой теме ограничен. Условием для перехода к следующей теме является прохождение промежуточного тестового контроля.

При оценивании задания преподаватель может оставлять отзывы в виде комментариев, загружать файл с исправленным ответом студента или аудио-отзыв. Ответы могут быть оценены баллами, пользовательской шкалой оценивания. Итоговая оценка заносится в Журнал оценок. В курсе реализована возможность повторной сдачи отчета, чтобы дать возможность студентам исправлять присланные работы в соответствии с замечаниями преподавателя. Самостоятельная работа студентов реализована такими инструментами LMS Moodle, как «Форум», «Семинар» и «Глоссарий». Форум дает возможность организовать информационное взаимодействие участников курса (студентов и преподавателей) во время обучения. Групповая работа студентов в дистанционном режиме организована при помощи инструмента «Семинар». Данный модуль дает возможность добавлять, хранить, рецензировать и взаимно оценивать студенческие работы. Работы могут быть представлены в виде любых файлов, а материалы оцениваются с использованием нескольких критериев оценки, заданной преподавателем. Элемент «Глоссарий» разрешает создавать и редактировать список определений.

Основными средствами контроля результатов обучения являются тестирование и коллоквиум. Для курса разработан банк вопросов, которые упорядочены по категориям. Тестирование осуществляется в конце каждой темы и является разновидностью самостоятельной работы студентов. Каждый тест не ограничен количеством попыток. Для доступа к следующей теме нужно ответить не менее чем на 60% вопросов правильно.

ADO.NET это набор библиотек, который входит в Microsoft .NET Framework и специализирован на взаимодействии с разнообразными хранилищами данных из .NET-приложений. На сегодня ADO.NET считается наиболее развитой технологией доступа к данным среди всех технологий, которые разработаны корпорацией Microsoft [3].

LINQ (Language-Integrated Query) – язык интегрированных запросов, объединяющих группу средств, позволяющих извлекать различную информацию из источника данных [4]. LINQ дополняет C# средствами, которые позволяют создавать запросы для любых LINQ-совместимых источников данных, используя синтаксис, который остается независимым от типа источника данных.

Сравнительный анализ LINQ и ADO.Net проведен на основании временных затрат на выполнение различных запросов и некоторых особенностей, которые присущи каждой технологии по обработке данных.

На языке C# разработана программа, которая предназначена для проведения этого сравнительного анализа. Реализованная функциональность позволяет проводить запросы к источнику данных, добавлять, удалять, обновлять данные, а также проводить анализ временных затрат. Источник данных содержал таблицу около 1000 строк.

Далее для сравнения результатов созданы запросы для обеих технологий, применение которых осуществлялась к одинаковым данным с фиксированием времени выполнения запроса.

Исходя из полученных результатов, следует, что при выводе небольшого количества строк разница временных затрат не отслеживается, а при выводе большого количества строк технология LINQ более эффективна; при добавлении как небольшого количества строк, так и большого количества, технология ADO.Net является эффективнее примерно в 2 раза; при удалении небольшого количества строк технология ADO.Net эффективнее в 11 раз, а при удалении большого количества строк – примерно в 8 раз; при обновлении данных как небольшого количества строк, так и большого количества, технология ADO.Net является эффективнее примерно в 2 раза; при сортировке данных в порядке возрастания технология ADO.Net является эффективнее.

По результатам проведенного исследования видно, что технология ADO.Net является эффективнее во всех сгенерированных запросах, причем степень эффективности в некоторых случаях значительно превышает эффективность технологии LINQ. Такая разница возникает потому, что ADO.Net работает на прямую с запросами SQL, а LINQ преобразует код в запросы. Помимо этого, преимуществом ADO.NET является возможность работать с отсоединенными источниками данных.

Заключение. Разработан курс «Современные компьютерные технологии» для дистанционного обучения. В ходе разработки курса были созданы: схема окружения курса, его информационная модель, теоретический материал, практический материал и тесты. Курс внедрен в учебный процесс. Проведено исследование временных характеристик работы технологий доступа к данным ADO.Net и LINQ на основе различных SQL запросов и разного количества данных.

Список литературы

1. Бакалов В. П. Дистанционное обучение: концепция, содержание, управление / В.П. Бакалов, Б.И. Крук, О.Б. Журавлева. – М.: Изд-ва «Горячая линия», «Радио и связь», 2008. – 591 с.
2. Макарычев П. П., Денисова И. Ю. Информационные обучающие системы / П.П. Макарычев, И.Ю. Денисова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2008. –160 с.
3. Албахари Дж., Албахари Б. C# 6.0. Справочник. Полное описание языка = C# 6.0 in a Nutshell: The Definitive Reference / Дж. Албахари, Б. Албахари. - М.: Вильямс, 2018. – 1040 с.
4. Нейгел К. C# 5.0 и платформа .NET 4.5 для профессионалов = Professional C# 5.0 and .NET 4.5 / К. Нейгел. – М.: «Диалектика», 2013. – 1440 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ MOODLE

Бондаренко В.И., канд. техн. наук,

Бодряга В.В., Бондаренко В.В.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

bondarenko@donnu.ru

Введение. Программная платформа Moodle [1] является системой управления обучением и относится к свободному программному обеспечению, распространяется бесплатно и с открытым исходным программным кодом.

Тестирование — важный элемент современного обучения. В особенности это касается электронного, в частности, дистанционного обучения. Аппарат тестирования в Moodle — это «львиная доля» системы, один из основных её модулей. Технология тестирования включает три основных этапа, которые циклически повторяются с целью постоянного повышения её эффективности: разработка теста; организация и проведение тестирования; статистическая обработка и анализ результатов [2].

Цель работы — изучить и оптимизировать организацию тестового контроля средствами системы Moodle.

Основная часть. Рассмотрим на примере создание наиболее часто применяющегося вопроса — множественного выбора (рис.1).

Название вопроса — вводим номер вопроса и его название (под номером может быть номер Главы или Темы, Лекции к которой относится вопрос, для того, чтобы можно было выбрать из общей базы для конкретной темы).

Текст вопроса — вводим текст вопроса. При создании вопроса можно поместить рисунок или формулу на экран.

Балл — вводим количество баллов за вопрос.

Общий отзыв к вопросу — отображается студенту после того, как он попытался ответить на вопрос. Можно использовать общий отзыв, чтобы показать студентам правильный ответ и, возможно, ссылку на дополнительную информацию, которую они могут использовать для понимания вопроса.

Один или несколько ответов — Имеется в виду количество верных ответов.

Случайный порядок ответов — если параметр включен, то порядок ответов в каждой попытке будет случайным, если «Случайный порядок ответов» также включен в настройках элемента курса.

Нумеровать варианты ответов — опция с вариантами «a., b., c., ...», «A., B., C., ...», «1., 2., 3., ...», «No numbering (нет нумерации)», который позволяет выбрать способ нумерации вариантов ответов.

Ответы – текстовое поле, в котором нужно вписать вариант ответа. Вариант ответа может быть верным или неверным. Это зависит от оценки, которая устанавливается в соответствующем параметре.

Оценка. Селектор, позволяющий выбрать от -100 % до 100 %. Если поставлен вопрос с одним правильным ответом, правильный ответ нужно оценить в 100 %. Остальные, неправильные ответы оценить в 0 % (пусто). Если имеется типичный неправильный ответ, преподаватель может оценить его в какой-либо отрицательный процент, например, -10 %.

Отзыв. Комментарий будет показан ученику, после того как он выберет этот ответ. Если ответ неправильный, то учитель может указать, в чем заключается ошибка. Это частные комментарии, которые показываются около выбранного ответа, поэтому текст должен быть коротким.

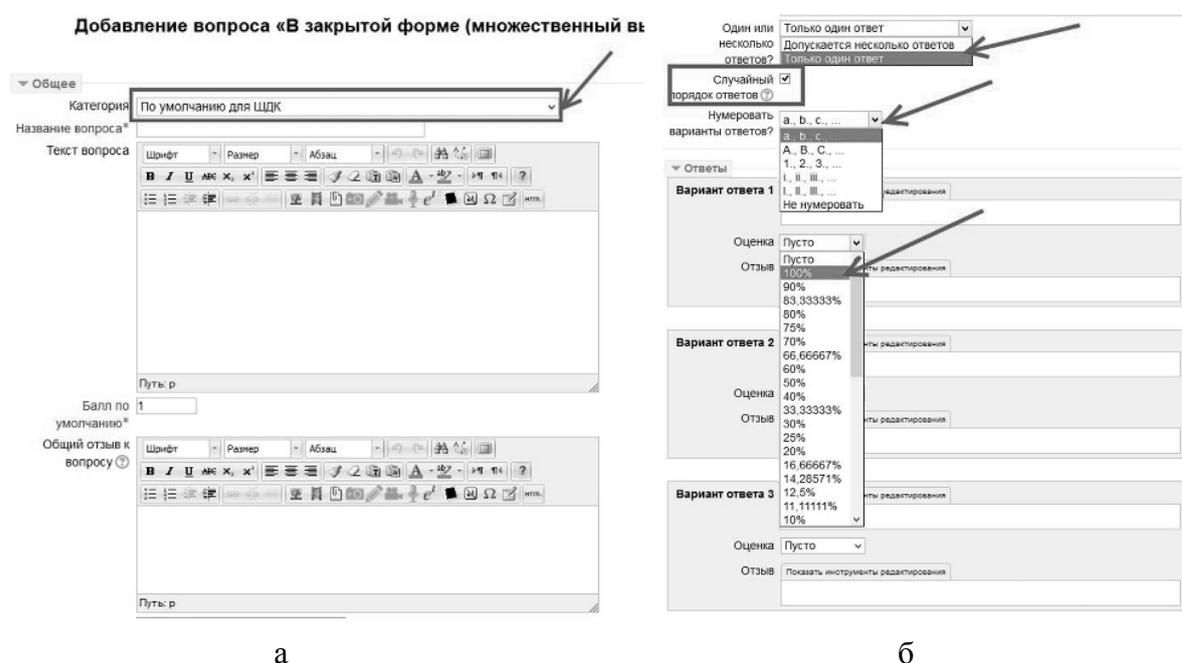


Рис. 1. Создание множественного вопроса (а – выбор категории, б – настройка вопроса)

Подобные действия необходимо повторить для каждого вопроса, помещаемого в банк вопросов. Таким образом, можно заметить, что добавление нового тестового задания стандартными средствами редактора Moodle является хоть и несложной, но затратной по времени процедурой.

Еще одной возможностью внесения в систему тестовых вопросов является импорт из файлов различных форматов.

Формат Moodle XML является рекомендуемым форматом типа вопроса для импорта, поскольку он позволяет импортировать максимальный объем данных вопроса (например, обратную связь с вопросом). Но часто для вопросов тестов такой большой объем информации является излишним и тогда можно воспользоваться форматом GIFT.

Формат GIFT позволяет экспортировать в текстовый файл или импортировать из него вопросы следующих типов: множественный выбор, альтернативный, короткий ответ, на соответствие, пропущенное слово, числовой и эссе.

На рис. 2 представлены примеры вопросов разных типов в формате GIFT для последующего импорта в банк вопросов Moodle.

<p>Какое ключевое слово указывает на внешнее объединение?</p> <pre>{ ~%-100%INNER ~%25%OUTER ~%25%FULL ~%25%LEFT ~%25%RIGHT }</pre>	<p>Удаление базы данных производится командой</p> <pre>{ =DROP ~DELETE ~ERASE ~FORMAT ~REMOVE }</pre>	<p>Напишите запрос для создания Базы данных, включающей таблицы с учетом связей между ними.</p> <p>1)Студент: числовой код; фамилия; университет.</p> <p>2)Преподаватель: идентификатор; фамилия; университет.</p> <p>3)Университеты: идентификатор; название; рейтинг.</p> <pre>{}</pre>
а	б	в

Рис. 2. Примеры вопросов в формате GIFT
(а – множественный выбор, б – один правильный ответ, в – эссе)

Заключение. Электронное тестирование с помощью системы управления обучения Moodle является удобным и действенным способом проверки знаний студентов. Формирование вопросов для тестов в виде текстовых файлов формата GIFT с последующим импортом в банк вопросов Moodle значительно упрощает и ускоряет работу с системой. Авторы используют подобные способы организации тестов для дисциплин «Базы данных», «Программные средства обработки графической информации» и др., которые размещаются в репозитории электронных курсов Донецкого национального университета <http://dl.donnu.ru>.

Список литературы

1. Moodle – Open-source learning platform [Электронный ресурс]. – URL: <https://moodle.org> (дата обращения: 01.09.2019).
2. Смирнов С.А. Применение Moodle 2.3 для организации дистанционной поддержки образовательного процесса / С.А. Смирнов. – Москва: Эдитус, 2012. – 184 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА

Григорьев С.В., канд. техн. наук, доцент,

Горбачева О.И.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

goi_7070@mail.ru

Введение. В настоящее время наблюдается глобализация роли информационных технологий в жизни человека. Современное общество уже не готово обходиться без информационных технологий. В последнее время, информационные технологии внедряются и в образовательную сферу физической культуры и спорта. Более широкое применение получают использование компьютеров, мультимедийных проекторов, интерактивных досок в образовательном процессе в физической культуре и спорте. Это дает возможность преподавателю более наглядно и интересно представить изучаемый материал.

Уже сегодня разрабатываются и активно используются в учебном процессе многих вузов физкультурного профиля дидактические материалы нового поколения: мультимедийные контролирующие программы; мультимедийные многоцелевые обучающие системы; мультимедийные презентации; базы данных образовательного назначения; образовательные Интернет-ресурсы; тренажеры; цифровые видеофильмы и др. [1]. Диапазон прикладных информационных технологий достаточно велик. Они обеспечивают операции по сбору, накоплению, хранению, обработке, передаче и продуцированию информации и доступ к информационным ресурсам компьютерных сетей.

Цель работы. Не смотря на определенные трудности внедрения современных технологий в область физической культуры и спорта, они вызывают определенный интерес у специалистов, следовательно, актуальна задача анализа и выбора средств перехода от традиционных средств обучения к использованию информационных технологий, позволяющих значительно эффективнее осуществлять сбор, обработку и передачу информации, вести самостоятельную работу и самообразование, качественно изменить содержание, методы и организационные формы обучения, подготовки высококвалифицированных специалистов в области физической культуры и спорта [2].

Основная часть. Одной из наиболее используемых информационных технологий при подготовке специалистов в области физической культуры и спорта является технология работы с текстовой информацией. Изучение и использование этой технологии обусловлены написанием рефератов,

составление отчетов, статей, создание типовых документов в профессиональной области и т.д. Также широко используется технология сканирования и распознавания текстовых документов.

Следующей, одной из популярнейших информационных технологий в области физической культуры и спорта является технология обработки данных, представленных в табличном виде посредством табличных процессоров. Эта технология позволяет обрабатывать статистический материал, представлять полученные результаты данных в графическом виде (диаграммы, графики). Востребованность этой прикладной информационной технологии среди специалистов в области физической культуры и спорта ставят на первое место по значимости.

Нельзя не отметить сетевые информационные технологии и сеть Internet, которые открывают широкие возможности перед специалистами в области физической культуры и спорта. Это поиск научной и спортивно-педагогической информации в сети Internet. Эта технология дает возможность поиска и обмена информацией в глобальных и локальных компьютерных сетях, в процессе обучения обмениваться информацией обучающимся с педагогами. Использование сетевых информационных технологий является одним из приоритетным при подготовке специалистов в этой области.

Следующий вид информационных технологий, применяемый в области физической культуры и спорта – использование мультимедийных презентаций. Мультимедийная презентация – это современный наглядный способ представления учебной информации. Как правило, в презентации задействованы все современные мультимедийные возможности: текстовую информацию, табличные данные, графику и анимацию, фотографии, видео- и аудиоматериалы, то есть все то, что наилучшим образом позволит усвоить учебный материал.

Также в области физической культуры и спорта применяются тестирующие и контролирующие программы. Они используются для проверки результатов обучения, могут реализовывать различные формы контроля и оценки. Компьютерное тестирование по своей объективности и скорости получения результата превосходит многие формы контроля.

Тестовые и контролирующие программы позволяют быстро установить обратную связь с обучающимися, внести коррективы в их знания, стимулировать подготовку к каждому занятию. А также экономить время преподавателя; снизить уровень тревожности и эмоционального напряжения при контроле знаний; объективно выставлять оценки. Вследствие объективности выставления оценок, студенты адекватно оценивают свои возможности и тем самым критически относятся к своим успехам.

Использование тестовых и контролирующих программ помогает проверить знания при проверке домашнего задания, при выполнении

практических работ, при проведении уроков и олимпиад, при проведении экзаменов, как по дисциплинам, так и итогового междисциплинарного экзамена по специальности.

Заключение. Положительное влияние информационных технологий на развитие отрасли физической культуры и спорта выявлено по следующим основным направлениям: статистический анализ и графическое изображение цифрового материала; текстовое редактирование методической и деловой документации; обучение и контроль теоретических знаний студентов; контроль физического развития, подготовленности, работоспособности занимающихся; подготовка и обработка результатов соревнований по различным видам спорта; контроль и оптимизация техники спортивных движений; создание компьютеризированных тренажерных комплексов

Информатизация отрасли «физическая культура и спорт» предполагает разработку и применение информационных технологий в следующих информационных системах: делопроизводство педагога, тренера-преподавателя, научного работника, студента; обслуживание спортивных соревнований; научно-методическое обеспечение подготовки спортсменов; научно-методическое обеспечение физического воспитания детей, подростков, учащейся молодежи; учебный процесс в вузах физической культуры; научно-исследовательская, организационная и управленческая деятельность [3].

Список литературы

1. Петров П.К. Информационные технологии в физической культуре и спорте: учеб. пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.
2. Горбунова Л.И., Субботина Е.А. Использование информационных технологий в процессе обучения // Молодой ученый. – 2013. – № 4. – С. 544–547.
3. Воронов И.А. Информационные технологии в физической культуре и спорте: Электронный учебник / И.А. Воронов; СПб ГУФК им. П.Ф. Лесгафта. – СПб.: изд-во СПб ГУФК им. П.Ф. Лесгафта, 2005. – 80 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ «НЕЧЕТКИЕ МНОЖЕСТВА В СМЫСЛЕ ГОГЕНА»

Житняя В.Г., канд. физ.-мат. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
kf.tuvm@donnu.ru

Введение. Теория нечетких множеств является шагом на пути к сближению точности классической математики и проникающей всюду неточности реального мира. Это подтверждает порожденное человеком стремление к наилучшему восприятию и пониманию процессов мышления и познания.

В настоящее время люди не могут сконструировать машины, успешно соперничающие с человеком в выполнении следующих задач: распознавание речи, перевод языков, понимание сущности, абстрагирование и обобщение, принятие решений в условиях неопределенности, а тем более в задачах агрегирования информации.

Неспособность проектировать описанные выше машины можно объяснить фундаментальным различием между человеческим разумом и «разумом» машин. Различие заключается в следующей способности человеческого мозга: думать и предлагать заключения в неточных, неколичественных, нечетких терминах. Указанной способности человеческого мозга цифровые вычислительные машины в настоящее время не имеют. Эта способность позволяет людям понимать искаженную речь, расшифровывать неразборчивый почерк, сосредотачивать внимание на информации, приводящей к решению задачи. Из-за отсутствия данной способности, вычислительные машины становятся непригодными для реализации контактов с человеком естественным путем без посредничества созданных искусственно языков.

В математике основным понятием является понятие множества как совокупности объектов. Представление о том, что может быть большая часть человеческих знаний и связей с внешним миром включает в себя указанные построения нецелесообразно называть множествами в классическом смысле. Эти построения надо считать «нечеткими множествами» (НМ) (или подмножествами), а именно классами с нечеткими границами. В последних переход от принадлежности к классу к непринадлежности реализуется не резко, а постепенно. Здесь ставится под сомнение логика человеческих рассуждений, базой которых является не классическая двужначная или многозначная логика, а логика с нечеткими значениями истинности, а также с нечеткими связями и правилами вывода.

Основы моделирования интеллектуальной деятельности человека были предложены профессором Калифорнийского университета Лотфи

А. Заде в работе «Fuzzy Sets», которую он опубликовал в журнале Information and Control № 8. Этот журнал является ведущим печатным органом в теории нечетких множеств. Его создала Международная Ассоциация Нечетких Систем (IFSA – International Fuzzy Systems Association). Все это указывает на актуальность теории нечетких множеств.

Л. Заде расширил понятие нечеткого множества (НМ), введя допущение: характеристическая функция (функция принадлежности элемента множества) может принимать значения в промежутке $[0,1]$, а не только его граничные значения. Указанные значения образуют множества, названные нечеткими (fuzzy). Он определил простейшие операции над НМ и предложил понятие лингвистической переменной, значениями (термами) которой являются нечеткие множества. Данное понятие позволило путем расширения классической двузначной логики построить логику с нечеткими значениями истинности, а также – связями и правилами вывода.

Понятие НМ в смысле Заде получило обобщения. К ним относится понятие нечеткого множества (НМ) в смысле Гогена. При этом рассматривается упорядоченное множество (L, \leq) . Оно, в частности, может иметь структуру решеток или полурешеток. Зафиксируем универсальное множество \mathfrak{U} . Нечетким множеством A универсумножества \mathfrak{U} в смысле Гогена называется семейство A , состоящее из пар $(x, \mu_A(A))$, где $x \in \mathfrak{U}$, $\mu_A \in L^{\mathfrak{U}}$, то есть $\mu_A: \mathfrak{U} \rightarrow L$ – некоторое однозначное отображение (функция).

По аналогии со случаем НМ в смысле Заде вводятся основные операции над НМ в смысле Гогена. К ним относятся указанные ниже операции.

Включения $A \subset B$, если $\forall x \in \mathfrak{U}$ имеем $\mu_A(x) < \mu_B(x)$ и при $\mu_A(x) \equiv \mu_B(x)$ имеем равенство $A = B$.

Дополнения \bar{A} нечеткого множества в смысле Гогена определяется, если (L, \leq) – булевы решетки, тогда $\forall x \in \mathfrak{U}$ имеем $\mu_A(x) \wedge \mu_{\bar{A}}(x) = 0$, $\mu_A(x) \vee \mu_{\bar{A}}(x) = i$, где $0, i$ – нулевой и единичный элементы булевых решеток. Дополнение по Гогену совпадает с дополнением по Заде только в случае $L = \{0, 1\}$, то есть для обычных множеств A .

Пересечения $A \cap B$, если $\forall x \in \mathfrak{U}$ имеем $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$, операция содержательна и для нижних полурешеток.

Объединения $A \cup B$, если $\forall x \in \mathfrak{U}$ имеем $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x)$, операция содержательна и для верхних полурешеток.

Разность $A - B = A \cap \bar{B}$ определяется только для булевых решеток.

Дизъюнктивная сумма $A \oplus B = (A \cap \bar{B}) \cup (\bar{A} \cap B)$ (или симметричная разность) определяется только для булевых решеток.

Результат. Планируемый результат выполнения лабораторной работы «Нечеткие множества в смысле Гогена» – выработка знаний и умений соответственно в области теории применения нечетких множеств и практического их использования в различных сферах (областях) нашей жизни. В частности, в области искусственного интеллекта теория нечетких множеств позволяет адекватнее по сравнению с традиционной логикой моделировать процессы человеческого мышления в условиях неопределенности.

В области психологии теория НМ позволяет моделировать свойства целостности психологических образов и представлений, а также гибкость мышления и многозначность речевых элементов.

В области философии теория НМ предлагает новые подходы для решения проблем абстракции и создания таких понятий, которые имеют гамму разнообразных оттенков.

В области лингвистики теория НМ позволяет моделировать содержание высказываний и текстов с использованием распределения возможностей, которые описываются функцией принадлежности.

Заключение. В заключении целесообразно обратить внимание на большое значение теории нечетких множеств, используемой в разных направлениях. К таковым относятся направления управления инвестиционными портфелями, планирования финансовой деятельности предприятий, оптимизации финансовых и информационных потоков, оптимизации товарооборота, оценки эффективности рекламных кампаний, оценки влияния политических и социальных событий на поведение рынка и тому подобное.

Использование нечеткого управления особенно эффективно в технике и промышленности. Такое нечеткое управление было реализовано вначале в Европе, а затем – в Японии. Все вышеизложенное свидетельствует об огромной роли теории нечетких множеств и целесообразности её применения людьми в условиях неопределенности (неполной и/или нечеткой информации).

Список литературы

1. Кофман Н. А. Введение в теорию нечетких множеств / Н. А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
2. Лейко С. Г. Основы теорії нечітких множин: Навчальний посібник / С. Г. Лейко. – Одеса.: Астропринт, 2005. – 192 с.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Ивина О.А., канд. техн. наук,

Стенина Н.А., канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово, РФ

k8enyu@gmail.com, stnat33@mail.ru

Дистанционное обучение, благодаря глобальному прогрессу в области информационных технологий, широко используется образовательными организациями по всему миру. Для создания учебной среды преподавателей, где можно представить информацию для студентов, создавать контент-материалы, готовить задания и тесты, участвовать в обсуждениях и управлять дистанционными занятиями, используются технологии связи клиент-сервер в Интернете. В большинстве случаев эти инструменты представлены веб-серверными приложениями, которые направлены на взаимодействие между студентами и преподавателями в их учебной деятельности. Развитие электронного обучения можно считать одним из ведущих направлений в сфере образования. И интернет как один из ключевых источников знаний во многих сферах деятельности человека способствует адаптации университетов к этим изменениям образовательной парадигмы, меняя существующие подходы в образовании [1].

В настоящее время существуют две тенденции развития дистанционного обучения в вузах: увеличение количества онлайн-курсов и расширение возможной области применения за счет внедрения различных тренажеров, интерактивных элементов и др.; интеграция некоторых элементов дистанционного обучения в традиционное образование.

Электронная информационная образовательная среда (ЭИЭУ) не первый год используется во многих вузах после введения новых образовательных стандартов в 2014–2016 годах. Образовательные ресурсы, используемые в обучении, должны быть размещены в специально разработанной информационной среде, предназначенной для обеспечения эффективной коммуникации между преподавателями и студентами и содержащей портфолио студентов, их достижения и результаты, посещаемость и результаты обучения и т.д. Реализация этих требований фактически включает элементы дистанционного обучения в любую образовательную программу [2].

Учебные заведения активно используют системы управления обучением (LMS). LMS — это веб-образовательная система, направленная на поддержку преподавателей в разработке, администрировании и управлении курсами дистанционного обучения. Хотя такие системы

предлагают большие возможности для пользователей, у них есть некоторые проблемы с обеспечением интеллектуальной поддержки и адаптации к потребностям пользователей [3].

Когда-то процесс обучения заключался в передаче знаний от преподавателя к студенту. Сегодня, в условиях неограниченного доступа к информации, смысл обучения заключается в умении находить ответы на поставленные вопросы. То есть способность задавать «правильные» вопросы будет влиять и на качество полученных знаний. Цель преподавателя направить сознание обучаемого, чтобы тот начал сам задавать вопросы и искать ответы на них. Еще Конфуций говорил: «Скажи мне — и я забуду, покажи мне — и я запомню, дай мне сделать — и я пойму». Этот аспект очень важен в разрезе дистанционного обучения. Не всегда в процессе обучения есть возможность ответа преподавателя «здесь и сейчас» на возникший вопрос, если обучаемый сталкивается с проблемой. Задача разработчика выстроить структуру обучения электронного курса таким образом, чтобы студент самостоятельно мог принять решение «Воспринимаю-Понимаю-Применяю» двигаясь вперед, повторяя этот цикл снова и снова. При этом ЭИЭЭ включает в себя ЛМС с образовательными ресурсами, используемыми в учебном процессе, должна обеспечивать доступ к расписаниям студентов, записям посещаемости и результатов обучения, сайтам студенческих портфолио, работам и достижениям, обеспечивая взаимодействие преподаватель-студент и студент-студент [4].

Такой подход в развитии электронной информационной образовательной среды способствует получению нового уровня образования и эффективных путей достижения наивысшего уровня цифровизации традиционного образования.

Список литературы

1. Glotova, T. et al. Individualized learning trajectories using distance education technologies // *Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. Communications in Computer and Information Science.* – 2015. – P. 778–792. doi:10.1007/978-3-319-23766-4_62
2. Krevskiy, I. G., Bershadsky, A., Glotova, T. Research Competence for Development of Distance Education in Russian Universities. In V. Mkrttchian & L. Belyanina (Eds.) // *Handbook of Research on Students' Research Competence in Modern Educational.* Hershey, PA: IGI Global. doi:10.4018/978-1-5225-3485-3.ch020
3. Mkrttchian V. et al. Web-Based Learning and Development of University's Electronic Informational Educational Environment // *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies (IJWLTT).* – 2019. – Т. 14. – №. 1. – С. 32-53.
4. Алексеев В. Ф., Лихачевский Д. В. Дуализм инновационных подходов при организации учебного процесса в вузе. – 2019. – №1. – С. 46-48.

РАЗРАБОТКА WEB-РЕСУРСА «АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПРЕПОДАВАТЕЛЯ»

Котенко Ю.В., Хвиль А.Д.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

melin1989@mail.ru

Введение. В XXI веке компьютерную технику применяют повсеместно. Почти все отрасли производства, экономики и образования используют программное обеспечение. Это в значительной мере облегчает и автоматизирует тяжелую работу, которую раньше нужно было анализировать и выполнять без применения технологий.

Сегодня в процессе обучения традиционные печатные издания заменяются автоматизированными учебно-методическими комплексами (УМК), которые используются для дистанционного образования, а также для самостоятельной работы студентов очной и заочной формы.

Сетевые информационные технологии дают много новых возможностей в развитии технологий обучения. Поэтому более целесообразно организовывать систему разработки и доступа к учебно-методическому комплексу именно с использованием современных компьютерных технологий. Существует необходимость в разработке программного инструментария, который позволит сделать работу с УМК максимально комфортной и продуктивной как для преподавателей, так и для студентов.

УМК представляет собой совокупность различных средств обучения, в том числе печатных пособий, технических средств обучения, обучающих программ и средств телекоммуникации, которые могут объединяться в комплексы сообразно актуальным задачам обучения. Разработка ориентированных на дистанционный способ обучения УМК позволит кафедрам и факультетам создать корпус собственных учебных средств.

Актуальность. В последние годы в системе технического и профессионального образования активно используются Интернет-технологии в качестве технологической основы электронного обучения, что связано с возросшими возможностями технических средств связи и распространением компьютерной сети Интернет. Информационные и коммуникационные технологии устранили или заметно снизили временные, пространственные и финансовые барьеры в распространении учебной информации, создали собственные интегрированные информационные образовательные ресурсы.

Особенностью использования автоматизированных образовательных программ и ресурсов в учебном процессе является такое обучение, при котором обучаемым предоставляется существенная часть учебного материала

в электронном виде, и большая часть взаимодействия с преподавателем осуществляются с использованием технических и программных средств в глобальной сети Интернет. При этом обучаемые имеют возможность самостоятельно получать требуемые знания, пользуясь электронными образовательными информационными ресурсами, предоставляемыми современными информационными технологиями.

Внедрение автоматизированных учебно-методических комплексов в процесс обучения создаёт принципиально новые педагогические инструменты, предоставляя, тем самым, и новые возможности. При этом изменяются функции педагога, и значительно расширяется сектор самостоятельной учебной работы учащихся как неотъемлемой части учебного процесса.

Целью настоящей разработки является проектирование и разработка web-ресурса учебно-методического комплекса преподавателя, позволяющего оказывать помощь студенту в изучении и систематизации теоретических знаний, формировании практических навыков работы в традиционной образовательной системе с использованием информационных технологий.

Результатом является автоматизированный учебно-методический комплекс преподавателя, а именно программный продукт учебного назначения, обеспечивающий непрерывность процесса обучения, содержащий организационные и систематизированные теоретические и практические материалы, построенные на принципах адаптивности, информационной открытости и дистанционности. При выполнении проекта, был сделан анализ предметной области и описан механизм УМК, на основе чего была разработана база данных. Реализована серверная часть проекта, отвечающая за логику работы приложения.

Для интернет-пространства визуальное восприятие – одно из основных. Поэтому акцент также был сделан на визуальном и цветовом оформлении сайта, так как это мощное средство влияния на сознание, подсознание и психоэмоциональное состояние посетителей. При разработке макета сайта была выделена цветовая палитра, основанная на принципе эмоций. Человек испытывает раздражение, когда попадает в помещение, окрашенное в неприятный цвет или расслабляется при виде любимого цвета (рис. 1).



Рис. 1. Цветовая палитра сайта

Оранжевый был использован в качестве основного цвета, т.к. он может вызывать интерес и бодрить, а также помогает создать ощущение движения и энергии. Зелёный цвет – это мост между тёплыми и холодными оттенками, обладает расслабляющим действием синего цвета, но также имеет и толику энергичности от жёлтого. В результате этого он создаёт очень сбалансированную и стабильную атмосферу. Концепция разрабатываемого

приложения в основном направлена на студентов, чья работоспособность и обучаемость будет увеличена, за счет интуитивно понятного интерфейса сайта и легкой доступности материала на нём.

Сайт состоит из двух частей, административной и пользовательской. Обычный пользователь имеет возможность только читать посты, зарегистрированному пользователю доступна еще возможность комментирования. Администратор имеет возможность из администраторской зоны добавлять новые, редактировать и удалять старые категории, теги, посты, комментарии. Для удобства в добавлении материала к постам был встроен текстовый редактор CKeditor, созданный для упрощения создания содержания web-страниц.

В ходе реализации проекта был спроектирован и разработан адаптивный под любые устройства web-сайт для УМК преподавателя, который сочетает в себе удобный пользовательский интерфейс с его функциональностью и простотой использования (рис. 2).

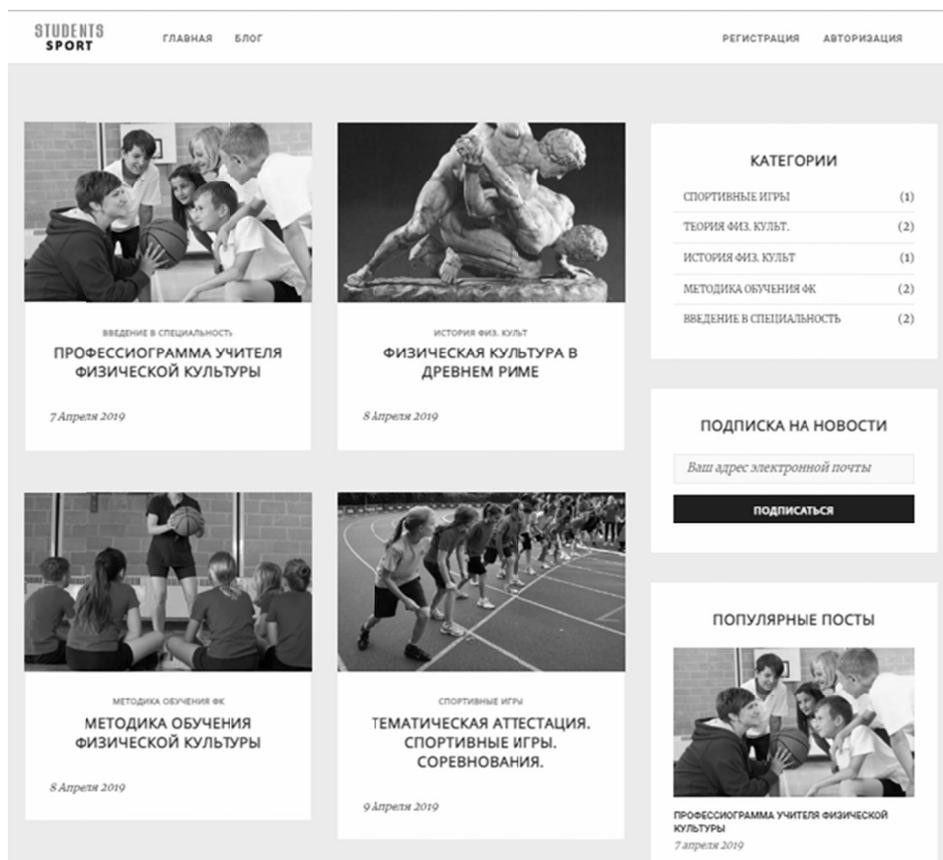


Рис. 2. Страница всех постов сайта

В заключении стоит отметить, что данный web-ресурс может быть установлен на локальный сервер или хостинг. При необходимости имеется возможность дальнейшего его развития, связанная с расширением его функционала под потребности конкретного преподавателя с целью усовершенствования преподавания требуемой дисциплины.

Разработанный web-ресурс может использоваться преподавателями для предоставления учебного материала в структурированной и презентационной форме, которая даст возможность стимулировать предметно-образную память, познавательную активность у студентов, позволяя увеличить коэффициент усваиваемого учебного материала, повышая интерес обучаемых к преподаваемой дисциплине.

УДК 004.9:378.4

АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕТА И АНАЛИЗА УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАФЕДРЫ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ

Котенко В.Н., Фурсов Д.В.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

kotenko1967@gmail.com

Введение. Методическая работа является важнейшей составляющей частью деятельности Научно-методического совета вуза, факультетов, кафедр, центров и лабораторий, всего профессорско-преподавательского, научного и учебно-вспомогательного состава вуза. Методическая работа в вузе осуществляется с целью качественной разработки образовательных программ, обеспечения эффективной организации учебно-воспитательного процесса, качественного проведения всех видов учебных занятий, повышения профессионального уровня руководящего, профессорско-преподавательского, научного и учебно-вспомогательного состава вуза [1].

Результаты учебно-методической деятельности университета являются важнейшей составляющей его успешности и конкурентоспособности на рынке образования. Над проблемой повышения результативности и эффективности учебно-методической деятельности в последние годы работают не только различные государственные инстанции, но сотрудники различных вузов.

Ценность методических изданий состоит в том, что в них размещена не только общепризнанная информация, но и различные мнения, доводы и эксперименты, доказывающие и опровергающие данную теорию. Учебно-методические издания обычно подготавливаются преподавателями учебного заведения, в котором они будут использоваться. Таким образом, преподаватели подготавливают базу для обучения студентов. Студенты могут изучить и ознакомиться со всеми существующими теориями и их опровержениями, наглядно рассмотреть проводимые эксперименты. Вся информация методических изданий обеспечивает полное и разностороннее

понимание студентами дисциплины. Для студентов методические издания играют важную роль не только в обучении, – они являются незаменимыми помощниками при подготовке и написании научных работ.

Поскольку методическая работа может существенно влиять на качество обучения, на конечные результаты работы образовательного учреждения, можно рассматривать ее как важный фактор управления образовательным процессом [2].

Вся учебно-методическая работа, сделанная кафедрой высшего учебного заведения, должна подлежать учету. Это необходимо не только для анализа и совершенствования методической деятельности, но и для подтверждения факта сделанной кафедрой методической работы.

Актуальность. На сегодняшний день при большом количестве преподавателей на кафедре и большом числе читаемых ими дисциплин, и, соответственно, большом количестве различных видов методических изданий, учёт учебно-методической работы кафедры становится всё сложнее и запутаннее. Современные технологии дают множество преимуществ в решении данной проблемы, таких как возможность хранения данных об учете методических указаний в электронном виде, возможность удаленной обработки информации, повышение скорости ее обработки, а также дают возможность вести учет и анализ учебно-методической работы кафедры.

Целью данного исследования является разработка системы для автоматизации учета учебно-методических изданий сотрудников кафедры.

Для достижения поставленной цели проведен ряд исследований по изучению процесса учета методических изданий преподавателей, определены неблагоприятные факторы, приводящие к ошибкам и неточностям при обработке информации.

Результат. Исследование данной технологии, используемой для автоматизации учета методических изданий кафедры, свидетельствует о том, что эффективность и качество учета и анализа учебно-методических изданий возрастает.

Разработанная автоматизированная система позволяет вести учет учебно-методических изданий кафедры компьютерных технологий, а именно: аутентифицировать пользователей системы для предоставления дифференцированного доступа (заведующий кафедрой, ответственный по учебно-методической работе кафедры, преподаватели), добавлять, редактировать и удалять учебно-методические издания, осуществлять многокритериальный поиск по году выпуска, дисциплине, авторам и т.д. Система позволяет вносить изменения в информацию об авторах, о дисциплинах, читаемых авторами изданий, видах изданий и т.п.

Доступ к страницам системы закрыт для незарегистрированных пользователей. Все пароли пользователей защищены адаптивной криптографической хеш-функцией формирования ключа bcrypt.

Информационная система реализована с использованием современных программных средств: языка PHP, фреймворков Laravel и Bootstrap, шаблонизатора Blade, системы управления базами данных MySQL.

Пользователями системы являются заведующий кафедрой, ответственный за учебно-методическую работу на кафедре и преподаватели кафедры, которым предоставляется возможность доступа из любой точки мира при условии использования любого электронного устройства, имеющего интернет-подключение и браузер.

Страница со списком учебно-методических изданий сотрудников кафедры показана на рис. 1.

Дисциплина	Вид издания	Название публикации	Автор	Формат бумаги	Кл-во страниц	Тираж	Обложка	Месяц выпуска	Год выпуска	Телефонный номер	Кнопки управления
Архитектура ЭВМ и микроконтроллеров	Методические рекомендации (методические указания)	Методические указания к выполнению и оформлению лабораторных работ по дисциплине «Архитектура ЭВМ и микроконтроллеров»	Котенко В.Н. Котенко Ю.В.	A5	75	50	Мягкая	Июнь	2019	34-72	Редактировать Удалить
Архитектура ЭВМ и микроконтроллеров	Учебное пособие	Учебное пособие по дисциплине «Инженерная и компьютерная графика»	Котенко В.Н. Котенко Ю.В.	A5	250	50	Мягкая	Декабрь	2019	34-72	Редактировать Удалить
Информатика и информационно-коммуникационные технологии	Конспект лекции	Конспект лекций по дисциплине «Информатика и информационно-коммуникационные технологии»	Мартыненко А.М.	A5	75	50	Мягкая	Ноябрь	2019	31-01	Редактировать Удалить
Программные средства обработки графической информации	Методические рекомендации (методические указания)	Методические рекомендации к выполнению и оформлению лабораторных работ по дисциплине «Программные средства обработки графической информации»	Бондаренко В.И. Бондаренко В.В.	A5	100	50	Мягкая	Июнь	2019	35-23	Редактировать Удалить

Рис. 1. Список методических изданий кафедры

В ходе выполнения данного проекта, разработанная система была протестирована на данных учебно-методических изданий кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО «Донецкий Национальный университет». Тестирование привело к положительным результатам как в учете, так и в анализе данных.

В заключении следует подчеркнуть, что предложенная технология с использованием современных информационных инструментариев позволяет преподавателям оперировать информацией о своих методических изданиях, повысить эффективность учета и анализа методической деятельности кафедры высшего учебного заведения, и использоваться заведующим кафедрой и заместителем по методической работе для учета и анализа учебно-методической деятельности преподавателей.

Список литературы

1. Коробко А. И. Методическая работа в вузе: цели, задачи, пути и формы ее ведения // Вестник Московского государственного лингвистического университета. – 2012. – № 16 (649).
2. Актуальность методической работы в общеобразовательном учреждении // Научный журнал «Молодой ученый»
URL: <https://moluch.ru/conf/ped/archive/309/14628/> (дата обращения: 10.04.2019)

УДК 004.92:371.261

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ОБУЧАЮЩЕГО WEB-РЕСУРСА ПО КОМПЬЮТЕРНОМУ ДИЗАЙНУ КАК МЕТОДА УЛУЧШЕНИЯ УСПЕВАЕМОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Котенко Ю.В., Цыбик А.В.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
melin1989@mail.ru

Введение. Сегодня трудно представить наш мир без компьютерного дизайна, а в целом – компьютерной графики. Компьютерная графика находит свое применение в любой сфере жизни общества. Архитекторы проектируют здания при помощи специальных приложений, мультипликаторы – создают новые мультфильмы.

Компетентный работник, разбирающийся в компьютерной графике очень востребован на рынке труда, поэтому для удовлетворения спроса и формирования новых профессиональных кадров часто разрабатываются обучающие ресурсы, вводятся новые дисциплины или открываются новые кафедры в высших учебных заведениях.

Как метод, решающий проблему с нехваткой специалистов в области компьютерного дизайна и предоставляющий расширенный контент для дополнительных возможностей по отдельно выбранной программе, разработан адаптивный обучающий web-ресурс по компьютерному дизайну.

Актуальность. Работа с компьютерной графикой – одно из наиболее перспективных направлений применения персонального компьютера. Данной деятельностью занимаются не только обычные дизайнеры, но и профессиональные художники. В любой современной компании или организации, рано или поздно, появляется необходимость создания собственного web-сайта и продвижения своих услуг с помощью рекламы в сети Интернет, которые, в свою очередь, не могут обойтись без использования средств компьютерной графики.

Для более детального понимания актуальности и состояния вопроса, авторским коллективом был проведен эксперимент по обучению студентов двух групп (численностью 23 человека и численностью 25 человек) в рамках

дисциплины по компьютерному дизайну с использованием электронного информационно-образовательного ресурса. Первая группа в процессе обучения постоянно использовала указанный электронный ресурс, а вторая – изучала этот же курс традиционным способом, лишь изредка обращаясь к электронной информационно-образовательной среде как к средству цифрового представления теоретического материала, или не обращаясь вовсе.

Естественно, содержание курса было идентичным, однако форма подачи материала и, следовательно, тестовые результаты были различны. При этом учебные материалы для второй группы были рассчитаны на студентов со средними способностями к обучению, в то время как для первой группы было предусмотрено несколько форм представления теоретического материала на выбор студента.

По окончании курса обе группы прошли один и тот же тест, который был призван показать уровень усвоения материала студентами и продемонстрировать достоинства (или недостатки) адаптивного обучения в части усвоения студентами значимого компонента дисциплины. Для сопоставления результатов, в виду разной численности групп, из второй, случайным образом, исключили результаты двух студентов. Результаты тестов студентов каждой из групп были упорядочены в порядке не убывания, что позволило наглядно представить и сопоставить полученные результаты (рис. 1).

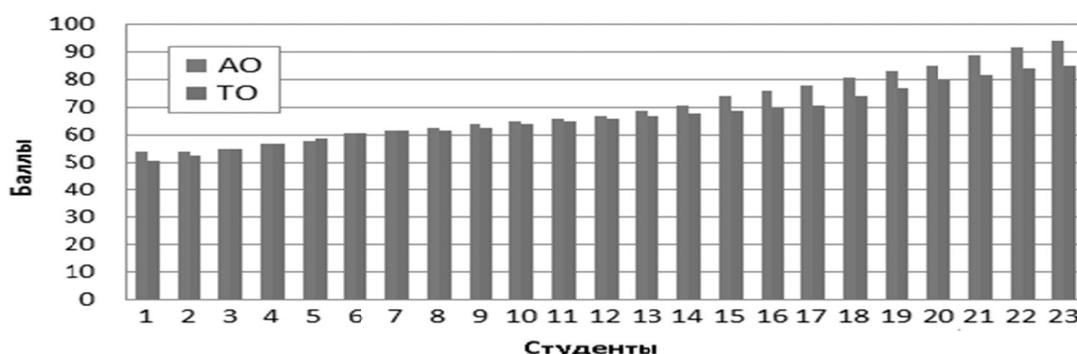


Рис. 1. АО – адаптивное обучение; ТО – традиционная форма обучения

Полученные результаты показывают, что студенты, которые проходили подготовку согласно адаптивному подходу в обучении, на итоговом тестировании продемонстрировали более высокие результаты. Так, из 23 человек шесть получили оценку «отлично» (80–100 баллов), в то время как из студентов, обучавшихся по традиционной модели, – «отлично» получили только четыре студента. Балльные оценки показывают, что в подавляющем большинстве случаев, студенты, прошедшие подготовку в рамках адаптивного обучения, ответили на тестовые вопросы лучше.

Именно поэтому данный проект посвящен разработке адаптивного обучающего web-ресурса по компьютерному дизайну. Объектом исследований выступил компьютерный дизайн, а предметом исследований – методика

развития профессиональной компетентности в процессе обучения компьютерному дизайну.

Целью данного проекта выступила разработка адаптивного web-ресурса для обучения компьютерному дизайну, также содержащего и накапливающего необходимые плагины и различные дополнения для программ по компьютерному дизайну.

Результатом явился разработанный адаптивный web-ресурс, позволяющий структурировать всю имеющуюся информацию по различным программам компьютерного дизайна, облегчать поиск информации при помощи различных тегов, а также категорий, предоставляющий возможности свободного обучения компьютерному дизайну, благодаря размещенным на сайте материалам. Реализована администраторская часть, в которой можно добавлять статьи, теги, комментарии, новых пользователей.

Для разработки web-ресурса были использованы возможности языка PHP, фреймворк Laravel, база данных MySQL и язык запросов SQL. Также в процессе создания программного продукта были учтены современные тенденции в дизайне и цветовом восприятии. Реализованы система подписок и категорий с тегами, а также возможность комментирования постов, для улучшения процесса взаимодействия при обучении. На рис. 2 показана одна из страниц web-ресурса с обучающими материалами.



Рис. 2. Страница «статьи» web-ресурса

Приложение может быть использовано на просторах сети Интернет как альтернатива стандартных уроков, с целью повышения качества усвояемости представленных материалов, быстрого поиска необходимых сведений, уроков и статей, а также для увеличения численности людей, способных уверенно работать в различных программах по компьютерному дизайну.

В **заключении** стоит отметить, что в основном в сети Интернет обучение либо платное, либо недостаточно качественное или вообще отсутствует по узкой направленности. Именно поэтому обучающий web-ресурс, который хранит в себе актуальные статьи и обучающие материалы, а также уроки по отдельным дизайнерским программам, позволит большому количеству людей освоить навыки работы с компьютерным дизайном.

УДК 37.091.3:004.92

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ BLENDER

Литвинова А. В., Бондарь Е. Д.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
litvinovaanna407@gmail.com

Введение. В жизни современного человека важную роль играет графическая информация. В настоящее время происходит не только модернизация уже существующих профессий, но и появляются новые профессии, связанные с использованием графических редакторов. Знание основ компьютерной графики сейчас очень актуально, так как она используется практически во всех областях науки и техники.

Получение обучающимися знаний в области информационных технологий и практических навыков работы с графической информацией является составным элементом общей информационной культуры современного человека и служит основой для дальнейшего роста профессионального мастерства. В связи с этим в общеобразовательных организациях ДНР в 2017 г. был введен курс «Компьютерная графика», который охватывает все основные разделы компьютерной графики и предлагает изучение таких графических редакторов как: Inkscape, GIMP, КОМПАС-3D, Blender.

Цель — на основе анализа методической и учебной литературы выделить основные методические требования к преподаванию графического редактора Blender в школьном курсе «Компьютерная графика».

Основная часть. Blender является бесплатным профессиональным программным обеспечением. Он предназначен для создания трёхмерной компьютерной графики, включает в себя средства моделирования, анимации, рендеринга, постобработки и монтажа видео со звуком, компоновки с помощью «узлов» (Node Compositing), а также создание интерактивных игр. В настоящее время пользуется наибольшей популярностью среди бесплатных 3D-редакторов в связи с его быстрым и стабильным развитием, которому способствует профессиональная команда разработчиков [1].

Blender — уникальный программный комплекс, позволяющий создавать реальный и красочный трёхмерный мир. С помощью свободного инструментария в Blender существует возможность создавать модели, работать с анимацией, использовать законы физики для имитации природных явлений. Также Blender используется для дизайна, в сфере телевидения для создания спецэффектов, для создания короткометражных фильмов, мультфильмов, сериалов. Программа может быть использована и как игровой конструктор [2].

Знакомство в школе с редактором трёхмерной графики происходит в 11 классе. На изучение Blender, в общем, отводится 12 часов. Он представлен в двух разделах: «Программа 3-мерного моделирования Blender. Базовые объекты и модификаторы» и «Художественное моделирование и анимация в программе Blender». В первом разделе учащиеся знакомятся с графическим редактором и изучают основные средства работы с ним. В этот раздел входит изучение таких тем, как «Введение в Blender», «Интерфейс программы. Окна», «Объекты в Blender», «Экструдирование и подразделение в Blender», «Булевы операции в Blender». Также в этот раздел входят три практические работы («Создание 3D-модели "Молекула воды"», «Экструдирование и подразделение», «Модификаторы»), которые являются критерием оценивания знаний учащихся. Второй раздел предполагает более углубленное рассмотрение графического редактора Blender. Предлагаются такие темы: «Настройки окружения и фона», «Освещение и камеры», «Настройки рендера», «Общие сведения о 3-мерной анимации», «Создание анимации на основе траектории движения, на основе деформации объекта. Создание нелинейной анимации». По мере усвоения материала проводятся две практические работы «Освещение и камеры», «Создание анимации».

При подготовке уроков по этому курсу следует обратить внимание на практические задания, которые помогают в лучшей мере усвоить материал, при этом доля времени, отведенного на преподавание теоретической части, не должна превышать 30%.

Теоретический материал должен обязательно закрепляться практической частью, поскольку не закрепленные знания усвоить довольно трудно. Материал целесообразно выкладывать небольшими порциями, в начале занятия, ориентировочно, в течение 10–15 минут.

Из календарно-тематического планирования видно, что теоретический материал курса имеет достаточно большой объем. Времени, выделяемого учебным планом, для освоения всего материала недостаточно. Поэтому в процессе освоения материала может быть предложена самостоятельная работа обучающихся. По многим темам курса учителю достаточно провести краткое установочное занятие, после чего, в качестве домашнего задания предложить обучающимся самостоятельно подробно изучить соответствующий материал из учебника. Но список литературы для изучения Blender, рекомендованный образовательной программой, состоит из учебных

видеоуроков и самоучителей, направленных на обучение студентов технических специальностей, при этом никакой методической литературы по многим разделам вообще нет. Это усложняет и процесс обучения для учащихся, так как весь материал необходимо осваивать непосредственно в школьном классе, и процесс подготовки уроков для учителя, так как рекомендуемый материал очень обширный.

В соответствии с программой среднего общего образования в курсе «Компьютерная графика» в разделе «Программа 3-мерного моделирования Blender. Базовые объекты и модификаторы» запланировано 3 практические работы: Создание 3D-модели «Молекула воды», Экструдирование и подразделение и Модификаторы. учитель должен самостоятельно определять форму проведения практических работ, а также их содержание и индивидуальные задания. В помощь учителю были разработаны методические рекомендации к проведению этих практических.

При проведении занятий следует учесть, что не каждый учащийся обладает какими-либо художественными навыками, вследствие этого могут возникнуть затруднения в выполнении определенных упражнений. Поэтому практические задания распределяются между обучающимися в соответствии с индивидуальными особенностями, и должны быть направлены не развитие художественных талантов, а на формирование знаний, умений и навыков по трехмерной графике. Соответственно упражнения по созданию рисунков должны быть подобраны так, чтобы упор делался на обучение техническим приемам и объяснения особенностей работы в программной среде.

Можно так же порекомендовать для каждого учащегося создать индивидуальную папку в школьном классе на ПК, где будут собираться все выполненные им работы.

Заключение. Перспектива изучения графического редактора Blender безгранична, но школьный курс позволяет ознакомиться лишь с базовыми вопросами, так как в профильном курсе «Компьютерная графика» программой отводится всего 12 часов на изучение графического редактора Blender. Охватить все инструменты и возможности Blender в рамках одного курса невозможно, поэтому большое внимание уделяется практической и самостоятельной работе. Рекомендованная в школьной программе литература не содержит методической литературы по графическому редактору, а существующие учебные пособия и самоучители больше подходят для студентов.

Список литературы

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Blender>; Интерфейс, история графического редактора Blender. – 29.08.2019
2. Прахов А. Blender. 3D-моделирование и анимация/учебное пособие А.В. Прахов. – СПб: Питер; Киев: Издательская группа ВНУ. 2009. – 402 с.

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДИСТАНЦИОННОГО КУРСА «WEB/XML-ТЕХНОЛОГИИ»

Пачева М.Н., Прокопенко Д.А.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
kf.tuvm@donnu.ru

Введение. Использование компьютерных средств в образовательном процессе способствует повышению эффективности учебного процесса. Дистанционная форма обучения позволяет создавать системы массового непрерывного самообучения, всеобщего обмена информацией, независимо от временных и пространственных поясов [1]. Учитывая представленные факторы, разработка и внедрение электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Web/XML-технологии» актуальны. Современные технологии не возможны без веб-сервисов, но при их разработке и внедрении актуальным остается вопрос тестирования. Поэтому разработка алгоритма тестирования веб-сервисов, которая может использоваться при выполнении лабораторных работ по курсу и при тестировании существующих веб-сервисов, представляет интерес.

Целью работы является изучение методик создания электронных образовательных курсов, разработка информационной модели комплекса дистанционного обучения, разработка теоретического и практического материала для усвоения учебного материала по курсу «Web/XML технологии», разработка информационной модели алгоритма тестирования веб-сервисов и их программная реализация.

Основная часть. В работе разработана информационная модель и создан электронный учебный курс на платформе Moodle для студентов специальности «Прикладная математика и информатика» по дисциплине «Web/XML-технологии». Курс состоит из блоков: новостной форум (для представления последних новостей о курсе, а также обратной связи между обучающимся и преподавателем); полезная информация (в блоке представлен глоссарий, ссылки на полезную литературу, а также контрольные задания); темы (представлены четыре темы которые состоят из лекционного материала, лабораторных работ, вопросов для самоконтроля и тестирования по данной теме); индивидуальные задания (в блоке находятся варианты для индивидуальных работ); задания для самоконтроля (в блоке находится финальное контрольное тестирование).

Созданный курс разбит на четыре темы, каждая из которых включает в себя лекционный материал, лабораторные работы, вопросы для самоконтроля и тестирование по указанной теме. Переход от одной темы к другой ограничен тестированием в конце каждой из тем. Основной формой подачи информации в данном курсе является лекционный материал,

представленный в виде элемента «Страница». В качестве альтернативного варианта можно выбрать элемент «Файл», «Гиперссылка», «Лекция». Положительной чертой элемента «Страница» является наличие качественного текстового редактора с возможностью добавления графических, видео и аудио файлов. Помимо этого, данный элемент содержит встроенный редактор кода. Другой положительной чертой элемента «Страница» является удобное отображение на мобильных устройствах, а также быстрое обновление и загрузка страницы.

Лабораторные работы играют важную роль в процессе обучения т.к. позволяют проверить уровень знаний учащихся. Они позволяют закреплять полученные теоретические знания и формировать основу практических навыков. Лабораторные работы выполняются индивидуально каждым студентом для закрепления определенного теоретического материала. Данный элемент курса реализован в виде элементов «Страница» и «Задание». Если отчеты лабораторных работ сдаются в бумажном виде, то лучшим вариантом будет «Страница». Если же отчет о выполненной лабораторной работе сдается преподавателю в электронном виде, то оптимальным вариантом будет элемент «Задание» т.к. он позволяет прикреплять файл с выполненным заданием. Со стороны преподавателя данный элемент позволяет оставлять как текстовый, так и аудио комментарий к работе студента, а также загружать файл с исправленной версией работы. Также помимо комментариев преподаватель имеет возможность ставить баллы за выполненную работу, которые позднее переносятся в «Журнал оценок» группы.

В Глоссарии представлены все термины, которые могли встречаться в курсе. Специальный алфавитный указатель помогает проще ориентироваться в списке.

Основным элементом контроля знаний учащихся является «Тест». Преимуществом тестирования является быстрая проверка огромного количества ответов студентов. В представленном курсе тестирование находится в конце каждой темы. Оно не ограничено по количеству попыток на прохождение, но исходя из методических рекомендаций, переход к изучению следующей темы лучше производить только тогда, когда тестирование сдано на не менее чем 60 %.

В работе разработан алгоритм для тестирования веб-сервисов. В ходе исследования было выявлено, что для полноценного тестирования необходимо использовать комплекс прикладных программ (SoapUI, Pingdom Tools и TestingWhiz), а для некоторых проверок также собственное разработанное приложение. Одними из основных являются два типа веб-сервисов. К ним относятся SOAP и REST, которые осуществляют передачу некой информации через интернет-протоколы.

Разработана информационная модель алгоритма тестирования веб-сервисов, построенная таким образом, что в первую очередь выполняется

проверка на валидность представленных XSD-схем с помощью специального разработанного приложения (Valid XML) [2].

Класс XmlSchemaValidator, используемый в приложении, представляет из себя эффективный, производительный механизм для принудительной проверки XML-данных по схеме XSD. Например, класс XmlSchemaValidator дает возможность проверять информационный набор XML локально, без сериализации в виде XML-документа, а затем выполнять синтаксический анализ с помощью модуля для проверки чтения XML. В классе реализованы методы для внесения схемы XML в список схем, который применяется во время проверки, возможность обнаружения и проверки встроенной схемы в проверяемом информационном наборе XML. Если проверка прошла успешно, далее следует выбор (по размеру) веб-сервиса, для которого будет осуществляться тестирование. Если тестируется небольшой веб-сервис, то следует проводить замеры с помощью более простого программного обеспечения (PingDom и TestingWhiz). Если же проводится тестирование более серьезных веб-сервисов, то следует использовать программы для более глубокого анализа (SoapUI) [3].

После выполнения тестирования оформляется отчет, содержащий результаты проверки, (проверка скорости загрузки страницы; размер загружаемой таблицы; количество передаваемых запросов; общая производительность веб-сервиса; размер и скорость загрузки конкретных активных элементов; работоспособность скриптов и запросов) после чего алгоритм завершается. В случае если веб-сервис не прошел даже базовой проверки на валидность с помощью Valid XML, пользователю будет сразу представлен отчет об ошибке и произойдет завершение алгоритма.

Заключение. Разработана и внедрена информационная модель учебного курса, содержащая две схемы: место дисциплины в системе обучения магистров по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика; внутреннее строение дистанционного курса. В ходе выполнения работы также разработана и описана информационная модель алгоритма тестирования веб-сервисов.

Список литературы

1. Шаров В.С. Дистанционное обучение: форма, технология, средство / В.С. Шаров // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2009. – № 94. – С. 236–240.
2. Хантер Д., Рафтер Дж. XML. Работа с XML / Д. Хантер, Дж. Рафтер. – М.: Диалектика, 2009. – 1344 с.
3. Стотлемайер Д. Тестирование Web-приложений: Средства и методы для автоматизированного и ручного тестирования программного обеспечения Web-сайтов / Д. Стотлемайер. – М.: Кудиц-Образ, 2003. – 240 с.

ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ИГР-СИМУЛЯТОРОВ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

Святенко А.А. канд. экон. наук, доцент
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
Svyat0212@meta.ua

Введение. Одним из актуальных приоритетных направлений в учебном процессе, является инновационная образовательная деятельность, ориентирована на совершенствование учебно-методического обеспечения системы образования и осуществляется в форме реализации инновационных проектов и программ [1]. Государственным стандартом среднего профессионального образования, по специальности 23.02.03 Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта [2], одной из общих компетенций (ОК 5), является: использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

Однако, существующая материальная база в образовательных учреждениях среднего специального образования (далее ОУ СПО), не всегда дает возможность качественно осветить вопросы и провести практические занятия по техническому обслуживанию и ремонту автотранспорта, особенно автомобилей иностранного производства, удельный вес которых, по отношению к автомобилям производства СССР и Российской Федерации на дорогах становится все больше. По состоянию на 01.01.2019 процентное соотношение легковых автомобилей иностранного производства к автомобилям отечественного производства, составляет 59 к 41 %. [3].

Цель: Поделиться собственным опытом внедрения ИКТ в образовательный процесс.

Основная часть. Для повышения качества подготовки специалистов среднего звена, и решая проблему отсутствия в учебном заведении автомобилей, узлов и агрегатов автомобилей иностранного производства, автор в своей педагогической деятельности на протяжении ряда лет использует методику применения информационно-коммуникационных технологий (далее ИКТ), которая основывается на «трех китах»: доступность, простота и эффективность. И все это практически не требует материальных затрат. Для это нужно эффективно использовать уже имеющиеся у каждого студента и преподавателя смартфоны и домашний персональный компьютер [4]. Рассмотрим применение игр-симуляторов в учебном процессе на примере игры-симулятора Car Mechanic Simulator 2018. Автор предлагает студентам скачать игру-симулятор Car Mechanic Simulator 2018, которая является разработкой компаний-разработчиков

PlayWay S.A., и Red Dot Games из США. В отличие от игр, которыми увлекается современная молодежь («стрелялки», гонки, квесты и т.д.) и которые не являются развивающими, эта игра является обучающей, логично-последовательной, приносящей существенную помощь студенту.

Приведенная в качестве примера игра-симулятор легко устанавливается на любой смартфон с платформой Android и IOS, или персональный компьютер. Управление игрой-симулятором простое и понятное, интерфейс у игры русскоязычный, термины понятны и затруднений не вызывают.

Основное действие игры-симулятора происходит на станции технического обслуживания автомобилей (далее СТО), которая оборудована всем необходимым инструментом, станками, оборудованием и приспособлениями для технического обслуживания и ремонта автомобиля. В программе игры заложены автомобили следующих всемирно известных марок: Chevrolet, Toyota, Mazda, Nissan, Mitsubishi, Opel, Honda, Volkswagen.

Учебные занятия со студентами как во время лекции, так и на практическом занятии проводятся под руководством преподавателя. Игра-симулятор в опции «Свободный режим» позволяет виртуально произвести разборку-сборку всего автомобиля, позволяя студентам усвоить алгоритм выполнения демонтажно-монтажных работ. При наведении курсора на деталь, программа автоматически выделяет ее контуром и выдает ее название, таким образом у студента формируется устойчивое знание технически-правильного названия детали и ее расположения (рис. 1).



Рис. 1 Обозначение контуром и названием водяного насоса системы охлаждения двигателя

В режиме «Выполнение задания», необходимо выполнить техническое обслуживание или ремонт предложенного программой узлов или агрегатов автомобиля. Для облегчения выполнения задания поврежденные детали выделяются контрастными цветами (желтый, синий, красный). Далее студент должен сам определить, как демонтировать эту деталь, заменить ее или восстановить.

По окончании ремонта автомобиль проходит испытания на полигоне, где проверке подвергаются: рулевое управление, ходовая часть, подвеска, тормозная система и др.

Во внеурочное время студенты продолжают самостоятельное выполнение заданий, предложенных преподавателем, в том числе при изучении учебного материала, вынесенного на самостоятельную подготовку.

Таким образом, использование в учебном процессе игры-симулятора Car Mechanic Simulator 2018 дает возможность:

- активизировать познавательную деятельность студентов;
- способствовать повышению мотивации студентов;
- решить вопрос с недостаточной материальной базой;
- рационально организовать образовательный процесс, повысить эффективность учебного занятия;
- продолжать учебный процесс в режиме самообучения;

Список литературы

1. Закон Донецкой Народной Республики № 55-ІНС от 19.06.2015 «Об образовании». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dnrsovet.su/zakon-dnr-ob-obrazovanii/>.
2. Государственный образовательный стандарт № 602 Министерства образования и науки ДНР от 25 сентября 2015 г. по специальности среднего профессионального образования 23.02.03 Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта.
3. Журнал «За рулем». Иномарки захватили российские дороги. Чупров Александр/, [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.zr.ru/content/articles/779343-inomarki-zaxvatili-rossijskie-dorogi/>.
4. Ефимова, Е. А. Интерактивное обучение как средство подготовки профессионально мобильного специалиста / Е.А. Ефимова // Среднее профессиональное образование. – 2011. – № 10. – С. 23-24.

УДК 372.851

РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ТЕМЕ «ЛИНЕЙНЫЕ УРАВНЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ»

Тарасов А.А., Шевцова Е.В., Шульга О.О.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР
sashatarasov1998@mail.ru

Введение. Перспективное развитие информационных технологий в современном мире существенно влияет на все сферы деятельности. Одной из таких сфер является образование, начиная с начального обучения, и, заканчивая высшим. Благодаря скоростному развитию сетевых интернет-технологий появилась новая форма самостоятельного обучения – дистанционное обучение.

Цель работы. Обеспечение при дистанционном обучении взаимодействия учителя с учеником, которое происходит на расстоянии, интерактивно, используя широкий спектр методов. «Какая бы форма не использовалась при обучении и воспитании человека, она должна соответствовать и отражать общие закономерности науки педагогики, педагогической психологии, закономерности дидактики и частных методик». Современные ученые пришли к выводу, что данный тип обучения имеет место быть в обществе, так как результаты и последствия в большей степени остались положительными [2].

Основная часть. Внедрение дистанционных образовательных технологий в образовательный процесс сопровождается целым рядом проблем и трудностей.

1. *Нормативно-правовые.*

- Схема оплаты авторам программ и преподавателям, проводящим занятия с использованием ДО.
- Какое количество часов на ДО и какой категории детей?
- Кто из обучающихся имеет право на ДО?
- Есть ли уже список заболеваний, при которых рекомендовано ДО для детей с ограниченными возможностями?
- Кто будет предоставлять ребёнку специальные технические средства?

2. *Педагогические.* Подготовка новых авторов дистанционных программ, обучение учителей, которые будут работать дистанционно с лицензионными программами: 1С «Математический конструктор, УМК «Живая математика», различные мультимедийные программы. Обучить детей работать с этими программами, а в случае обучающихся с определенными заболеваниями и родителей. Необходима компьютерная грамотность всех лиц, участвующих в процессе дистанционного обучения.

3. *Технические.* Доступ к интернету. Отдельный небольшой кабинет со специализированной техникой для учителя, чтобы между уроками, в «окно» у учителя была возможность провести урок дистанционно. У учащегося с ограниченными возможностями должны быть специализированные технические средства: сенсорный экран, накладка на клавиатуру, выносные компьютерные кнопки, головная мышь, брайлевские клавиатуры и принтеры.

4. *Психофизиологические.* Для учителя это дополнительная нагрузка, наряду с теми программами, которые можно использовать для дистанционного обучения, есть свои трудности. Для одарённого ребенка или для углубленного изучения таких предметов как математика, химия, подбор заданий и их написание требуют компьютерной компетентности и времени. Для детей с ограниченными возможностями возникают трудности практического характера, особенно если ребенок не пишет или очень плохо и медленно пишет, приходится придумывать, проявлять творчество по

созданию схем, таблиц для каждого индивидуально. Задания должны быть наглядно-образные. Проблема в соблюдении баланса доступности и качества дистанционного образования. Создание налаженной системы организации учебной сознательности учащегося (ребенок в поисках нужной информации «гуляет» с сайта на сайт, уходя от темы).

Учителю, в отличие от очных форм обучения необходимо уметь на расстоянии определять психологический настрой и психологические особенности своих учеников, чтобы больше внимания уделять, например, интровертам, стимулируя их к активной деятельности в форумах, чатах, сдерживать пыл экстравертов. Увлеченный ученик не хочет ждать определенного времени, отправляя задание или вопрос, он хочет знать результат, ответ прямо сейчас, иначе начинает нервничать, обижаться. Необходимо формировать культуру коммуникации в сетях. Все это требует от педагога достаточно сложных знаний и умений, специальной и достаточной подготовки. Особенно проблемно дистанционное обучение с детьми-инвалидами. Прежде чем организовать дистанционное обучение с такими детьми, необходима личная встреча с ребенком, родителями, ознакомиться с особенностями заболевания, проконсультироваться с психологом, если у учителя нет соответствующего второго образования. Опять же при планировании дистанционного урока обязательно использовать здоровьесберегающие технологии, соблюдение времени за компьютером, положительные эмоции и прочее.

5. Дистанционное образование требует максимального участия родителей. Если родители работают полный рабочий день всю неделю, у них просто не будет возможности контролировать обучение и помогать ребенку в освоении новых знаний. Если это ребенок-инвалид, то родителю в большинстве заболеваний необходимо присутствие при общении по скайпу с учителем.

Для устранения проблем при обучении с применением дистанционных технологий важно учитывать, что в виртуальном пространстве большую роль играют мотивация и заинтересованность учащегося. Даже самые лучшие и передовые технологии, такие как информационные и психолого-педагогические, без оптимизации учебного процесса могут оказать обратное воздействие, поэтому для качественного и доступного образования недостаточно просто внедрить систему дистанционного образования в процесс обучения, необходим творческий подход к делу, создание налаженной системы организации учебной деятельности учителей и учащихся [1].

Данная работа посвящена разработке подсистемы «Линейные уравнения и их применение» в системе дистанционного обучения Moodle центра математического просвещения факультета математики и информационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный

университет». Рассмотрены основные проблемы дистанционного обучения и описано их возможное решение.

Заключение. В ходе данной работы проанализированы возможности дистанционного обучения, проведена сравнительная характеристика различных систем дистанционного обучения, из которых самой эффективной является Moodle. Представлена функциональная блок–схема работоспособности подсистемы. Разработан электронный курс по теме «Линейные уравнения и их применение». Внедрены тесты для самоконтроля.

Подсистема разделена на два блока: обучающий и контролирующий.

Обучающий блок содержит лекционный и практический материал, генератор задач и их графическое решение использующийся в учебном процессе центра математического просвещения ФМиИТ ГОУ ВПО «ДонНУ».

Контролирующий блок состоит из промежуточных и контрольного тестов и отвечает за контроль знаний.

На данный момент подсистема функционирует и предоставлена к практическому использованию абитуриентам и студентам факультета.

Список литературы

1. Вайндорф-Сысоева М.Е. Педагогика в виртуальной образовательной среде / М.Е. Вайндорф-Сысоева. Хрестоматия. – М.: МГОУ, 2006. – 167 с.
2. Полат Е.С. Педагогические технологии дистанционного обучения / Е.С. Полат. – М: изд. центр «академия», 2006. – 100 с.

УДК 372.853

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕМЫ «КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ» В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ИНФОРМАТИКИ

Тищенко А.А.

Коломенская В.В., канд. физ.-мат. наук, доц.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

v.kolomenskaya@donnu.ru

Введение. Современные информационные технологии нуждаются во все более совершенных средствах обработки информации, поэтому потребности в таких средствах постоянно растут. Модель, в которой один компьютер выполнял всю необходимую работу по обработке данных, уступила место модели, представляющей собой большое количество отдельных, но связанных между собой компьютеров. Объединение компьютеров и средств коммуникации в сеть оказало существенное влияние на принципы организации компьютерных систем.

Возникновение новых компьютерных технологий имеет существенное влияние на расширение количества и объема учебных тем в курсе информатики. Одной из них является тема «Компьютерные сети». На сегодняшний день она несет в себе достаточно много новых знаний и открытий, так как эволюция в этой сфере продвигается очень стремительно.

Актуальность. В школе тема «Компьютерные сети» входит в курс информатики на всех уровнях преподавания предмета. На общеобразовательном уровне этой теме отводится 14 часов, на профильном – 4 часа, на углубленном – 29 часов. На общеобразовательном и углубленном уровнях предусмотрены практические работы.

Анализ программных требований и учебников [1–3] по информатике, рекомендуемых МОН ДНР показал, что методическое обеспечение темы «Компьютерные сети» неполное. Особенно это касается практических занятий.

Целью настоящего исследования является разработка методического обеспечения для проведения практических занятий по теме «Компьютерные сети» в школьном курсе информатики.

Результаты работы. На общеобразовательном уровне в школьном курсе информатики по теме «Компьютерные сети» предусмотрено проведение трех практических занятий:

1. Регистрация почтового ящика. Просмотр и отправка писем. Форумы и чаты в Интернет.

2. Поиск информации по адресу. Получение информации разных видов с Web-страниц и ее сохранение.

3. Создание простейшей веб-страницы.

На углубленном уровне программой курса предусмотрены четыре практических занятия:

1. Поиск информационных материалов в Интернете по указанной теме. Создание списка сайтов, избранных для быстрого просмотра.

2. Работа с интернет-энциклопедиями, словарями и онлайн переводчиками.

3. Тестирование сети.

4. Сравнение поисковых систем.

На профильном уровне практические работы отсутствуют.

Для проведения всех указанных практических занятий было разработано методическое обеспечение, предусматривающее индивидуальную работу учеников. Каждое задание сопровождается необходимой справочной информацией.

Ниже приведены примеры заданий к практической работе по тестированию сети.

1. Исследуйте свой компьютер и заполните таблицу:

Сетевое имя компьютера	
Рабочая группа	
IP-адрес	
Маска подсети	
Номер сети	
Номер компьютера в сети	
Шлюз	
Основной DNS-сервер	

Справка. Путь для получения информации о компьютере:
 Пуск → Командная строка → Запуск от имени администратора → Enter.
 В командной строке: ipconfig → Enter.

2. Определите, сколько «прыжков» до следующих сайтов:

Сайт	Число «прыжков»
www.gazeta.ru	
www.yandex.ru	
www.google.ua	

Справка. Трассировка маршрута: В командной строке: tracert «ссылка на сайт». Трассировка маршрута может показать скорость прохождения пакетов между маршрутизаторами, которые соединяют ПК, с которого идут запросы, и конечный сервер.

Разработанное методическое обеспечение планируется использовать в учебном процессе в курсе «Методика преподавания информатики» для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Педагогическое образование» в ДонНУ, а также на уроках информатики в школе.

Заключение. В работе рассмотрены компьютерные сети как составная часть информационных технологий. Изучено влияние уровня компьютерных технологий на содержание школьного курса информатики.

Проведен анализ уровня методического обеспечения темы «Компьютерные сети» в школьных учебниках. Выяснено, что методическое обеспечение указанной темы неполное.

Разработано методическое обеспечение для проведения всех практических занятий по теме «Компьютерные сети», предусмотренных программами курса информатики для общеобразовательного и углубленного уровней.

Список литературы

1. Босова А.Ю. Информатика: учебник для 6 класса / Л.Л. Босова, А.Ю. Босова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 213 с.
2. Босова Л.Л. Информатика. 9 класс / Л.Л. Босова, А.Ю. Босова. – М.: БИНОМ, 2013. – 184 с.
3. Поляков К.Ю. Информатика. 10 класс. Углубленный уровень. В 2 ч. / Ч. 2. К.Ю. Поляков, Е.А. Еремин. – М.: БИНОМ, 2013. – 304 с.

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

<i>Волчков В.В., Волчков Вит.В.</i> Интерполяционные задачи для функций с нулевыми интегралами по шарам фиксированного радиуса	5
<i>Горр Г.В., Мазнев А.В.</i> Интегрирование уравнений движения тела под действием потенциальных и гироскопических сил в случае трех инвариантных соотношений	7
<i>Калоеров С.А.</i> Новые классы краевых задач теории изгиба тонких плит и методы их решения	10
<i>Кожухов И.Б., Михалёв А.В.</i> Теория полигонов над полугруппами	15

Механика твердого тела

<i>Горр Г.В.</i> Динамика твердого тела, имеющего неподвижную точку	18
<i>Балаклицкая Т.В., Горр Г.В.</i> Классификация инвариантных соотношений в решениях уравнений движения гиростата	21
<i>Коносевич Б.И., Коносевич Ю.Б., Мозалевская Г.В.</i> Анализ условий динамического равновесия оси симметрии артиллерийского снаряда	24
<i>Ткаченко Д.Н.</i> Условия существования одного класса полиномиальных решений уравнений Эйлера-Пуассона	25
<i>Клово А.Г., Гончаров А.В.</i> Условия всюду-оптимальности управления одной системой с распределенными параметрами	27
<i>Котов Г.А.</i> Динамика гиростата с переменным гиростатическим моментом	30
<i>Мазнев А.В., Белоконь Т.В.</i> О двух линейных инвариантных соотношениях уравнений движения гиростата в поле силы тяжести	33
<i>Зыза А.В.</i> О Новом классе частных решений одной задачи о движении гиростата	36
<i>Мазнев А.В., Горбунова Ю.С.</i> Кинематические условия прецессионных движений гиростата	38
<i>Платонова Е.С.</i> Новое полиномиальное решение одной задачи о движении гиростата	41
<i>Щепин Н.Н.</i> Положение равновесия замкнутой системы тел с учетом растяжения.....	44

Механика деформируемых сред

<i>Бобакова Р.В., Моисеенко И.А.</i> Нормальные волны в радиально неоднородных трансверсально изотропных многослойных цилиндрах	47
<i>Болнокин В.Е., Прийменко С.А., Номбре С.Б., Сторожев С.В.</i> Методика получения нечетких оценок для критических частот и фазовых скоростей нормальных волн в ортотропных прямоугольных волноводах со скользящей заделкой граней	50
<i>Глухов А.А., Сторожев В.И.</i> Особенности топологического строения дисперсионных спектров сдвиговых нормальных волн в трансверсально-изотропном функционально-градиентном упругом слое	53

<i>Глушанков Е.С.</i> Определение энергетического состояния пьезопластинок, находящихся под действием линейного потока тепла	56
<i>Калоеров С.А., Занько А.И.</i> Изгиб вязкоупругой плиты с отверстиями и трещинами	59
<i>Моисеенко И.А., Сидаш О.Ю.</i> Анализ нелинейных вторых гармоник для осесимметричных волн вдоль полого трансверсально изотропного цилиндра	62
<i>Нескородев Р.Н., Сторожев В.И.</i> Вязкоупругое напряженное состояние анизотропных горных пород с жестко подкрепленной горизонтальной выработкой эллиптического сечения	65
<i>Пачева М.Н., Сторожев В.И.</i> Эффекты прохождения сдвиговых нормальных волн по составному волноводу из контактирующих трансверсально-изотропных функционально-градиентных полуслоев	68
<i>Приيمنко С.А., Номбре С.Б., Сторожев С.В.</i> Анализ влияния неопределенностей в модели распространения нормальных волн сдвига в двухслойном функционально-градиентном волноводе симметричного строения	71
<i>Бондаренко Н.С.</i> Анализ безмоментного напряжённого состояния трансверсально-изотропных пластин на базе обобщённой теории {1,2}-аппроксимации	74
<i>Бондаренко Н.С., Гольцев А.С.</i> Использование обобщённой теории оболочек в задачах термоупругого изгиба пластин с теплоизолированным разрезом	77
<i>Нагорная Р.М., Цванг В.А.</i> Исследования напряженного состояния тонких оболочек двойкой кривизны на действие локальных динамических нагрузок	80

Информационные системы управления

<i>Андриенко В.Н.</i> Особенности структуры системы менеджмента современного предприятия	83
<i>Балдынюк А.И.</i> Система управления персоналом инновационно-активного предприятия	86
<i>Величанский В.А., Андриенко В.Н.</i> Инструментальные средства совершенствования информационно-коммерческого портала предприятия розничной торговли	88
<i>Гайдарь Е.В., Овчаренко А.С.</i> Особенности организации информационно-документационного обеспечения государственного предприятия	91
<i>Ивина О.А., Стенина Н.А.</i> К вопросу интеграции информационных технологий ...	94
<i>Коробейникова К.В.</i> Цифровизация как направление развития современного бизнеса	97
<i>Крулькевич М.И.</i> Информационная сфера как фактор инновационного развития ...	100
<i>Курдюмова И.А.</i> Единое информационное пространство как сфера реализации информационно-коммуникативной функции	103
<i>Мащенко Н.Е.</i> Управление информационными ресурсами образовательной организации	105
<i>Мелюс И.Е., Андриенко В.Н.</i> Реализация механизма управления кадровым потенциалом таможенных органов	108
<i>Митрохина Е.А.</i> Подходы к разработке IT-стратегии для организации	111
<i>Поволоцкий Я.А.</i> Системы автоматического контроля и сбора информации	114

<i>Пономаренко Н.Ш.</i> Влияние информационных войн на продовольственную безопасность государства	116
---	-----

Математический анализ и дифференциальные уравнения

<i>Ананьева А.Ю.</i> Экстремальные расширения оператора Бесселя на полуоси	120
<i>Айдагулов Р.Р.</i> Гиперболическая геометрия и СТО	122
<i>Degtyarev S.P.</i> A Class of weighted holder spaces for parabolic models of mathematical physics	125
<i>Зарайский Д.А.</i> Теорема единственности для решений уравнения свёртки с радиальным свёртывателем	127
<i>Заставный В.П.</i> Неравенства для положительно определённых функций	128
<i>Илюхин А.А.</i> Алгоритм приведения двумерного уравнения эллиптического типа к каноническому виду	130
<i>Лиманский Д.В.</i> Априорные оценки для систем минимальных дифференциальных операторов в анизотропных пространствах Соболева	133
<i>Манов А.Д.</i> Об одном обобщении теоремы о положительной определённости кусочно-линейной функции	134
<i>Манов А.Д.</i> О принципе максимума для одной задачи Коши	135
<i>Машаров П.А., Рыбенко Е.А.</i> Радиус Помпейю для равнобедренного прямоугольного треугольника	136
<i>Иванов А.Ю.</i> Применение отображения типа Гаусса к задаче внешнего освещения	139

Прикладная математика, прикладная информатика и теория систем управления

<i>Максимова А.Ю., Иванова А.А., Лозинский Н.С.</i> Корреляционно-регрессионный анализ влияния суммарного содержания ароматических углеводородов в бензине на его плотность	141
<i>Бельков Д.В., Едемская Е.Н.</i> Модель сетевого трафика	144
<i>Шевцов Д.В.</i> Обоснование метода автоматического моделирования образов растровых цифровых бинарных изображений на дискретном множестве атомарных элементов	146
<i>Бородай А.Р., Блохин С.В.</i> Исследование методов биометрической идентификации ...	149
<i>Шевцов Д.В., Шевцова Е.В.</i> Обоснование выбора метода адаптивной бинаризации для предварительной обработки сканированных документов электронных информационных ресурсов	152
<i>Тарасова И.А.</i> Разработка базовых структур системы поддержки принятия решений на принципах нечеткой логики с использованием функций принадлежности нескольких аргументов	155
<i>Канделаки К.С., Рыбалко Л.А.</i> Фильтрация и скремблирование звукового сигнала	158
<i>Блохин С.В., Месропян А.Г.</i> Об анализе реальных звуковых сигналов	160
<i>Манилов Д.Ю., Решетников А.В.</i> Об одной задаче, связанной с булевыми матрицами	163

<i>Бондаренко И.Ю.</i> Классификация интенгов на основе байесовских нейронных сетей	165
<i>Рыбалко Л.А.</i> Улучшение криптостойкости аффинного шифра	168
<i>Авдюшина Е.В., Шевченко А.Ю.</i> Построение информационной модели городского навигатора для платформы ANDROID	171
<i>Авдюшина Е.В., Шерemet А.С.</i> Информационная модель WEB-сервисов управления компанией	174
<i>Шкодина Л.Н.</i> Построение хэш-функции и создание электронно-цифровой подписи под документами	177
<i>Киселёв Ф.В.</i> Особенности генерации звуковых сигналов с учётом выразительных особенностей человеческого исполнения	179
<i>Житняк В.А., Прийменко С.А.</i> Локализованная программная реализация компьютерно-математической модели калькулятора для задачи исследования свойств бегущих нормальных волн в функционально градиентных сплошных цилиндрах	181
<i>Левин В.И.</i> Вычисления в условиях неопределенности с помощью интервальной математики	184
<i>Левин В.И.</i> Исследование функций с неопределенностью методом раздетерминзации	186

Теория вероятностей и математическая статистика

<i>Бондарев Б.В.</i> Оценка скорости сходимости в одной предельной теореме для стохастического дифференциального уравнения Ито	187
<i>Александрова О.В., Жмыхова Т.В.</i> Использование методов группового анализа для оценки капитала компании на финансовом (B,S)-рынке с описываемой моделью Орнштейна-Уленбека ценой рискованного актива	190
<i>Золотой А.Л., Золотая А.В.</i> Использование непараметрического медианного критерия в геоэкологических исследованиях	192
<i>Ковальчук И.С., Шурко И.Л.</i> Статистические технологии в инновационном менеджменте	195
<i>Мельничук Н.Ю.</i> О методе проведения гарантированного оценивания неизвестного параметра, линейно входящего в снос стохастического дифференциала с периодическими коэффициентами при внутреннем периодическом зашумлении	198

Технологии обучения в высшей профессиональной школе

<i>Авдюшина Е.В., Бартошик Н.В.</i> Информационная модель дистанционного курса «Современные компьютерные технологии»	201
<i>Бондаренко В.И., Бодряга В.В., Бондаренко В.В.</i> Организация тестового контроля знаний студентов в системе дистанционного обучения Moodle	204
<i>Григорьев С.В., Горбачева О.И.</i> Использование информационных технологий в области физической культуры и спорта	207
<i>Житняк В.Г.</i> Методические указания к лабораторной работе «нечеткие множества в смысле Гогена»	210

<i>Ивина О.А., Стенина Н.А.</i> Тенденции развития электронной информационной образовательной среды	213
<i>Котенко Ю.В., Хвиль А.Д.</i> Разработка web-ресурса «автоматизированный учебно-методический комплекс преподавателя»	215
<i>Котенко В.Н., Фурсов Д.В.</i> Автоматизация учета и анализа учебно-методической деятельности кафедры высшего учебного заведения	218
<i>Котенко Ю.В., Цыбик А.В.</i> Разработка адаптивного обучающего web-ресурса по компьютерному дизайну как метода улучшения успеваемости обучающихся	221
<i>Литвинова А.В., Бондарь Е.Д.</i> Особенности преподавания Blender	224
<i>Пачева М.Н., Прокопенко Д.А.</i> Информационная модель дистанционного курса «Web/xml-технологии»	227
<i>Святенко А.А.</i> Имплементация игр-симуляторов в учебный процесс	230
<i>Тарасов А.А., Шевцова Е.В., Шульга О.О.</i> Разработка учебно-методического комплекса по теме «Линейные уравнения и их применение»	232
<i>Тищенко А.А., Коломенская В.В.</i> Методическое обеспечение темы «компьютерные сети» в школьном курсе информатики.....	235

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**ДОНЕЦКИЕ ЧТЕНИЯ 2019:
ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА, ИННОВАЦИИ,
КУЛЬТУРА И ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОСТИ**

Материалы
IV Международной научной конференции
31 октября 2019 г.,
г. Донецк

ТОМ 1
Физико-математические и технические науки
Часть 1

под общей редакцией проф. *С.В. Беспаловой*

Ответственный за выпуск проф. *В.И. Сторожев*

Дизайн обложки	<i>Е.Г. Грудева</i>
Технический редактор	<i>М.В. Фоменко</i>
Компьютерная верстка	<i>М.В. Фоменко, Н.Н. Щепин</i>

Адрес оргкомитета:

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
ул. Университетская, 24, г. Донецк, 83001, ДНР
e-mail: *science.prorector@donnu.ru*

Подписано в печать 15.10.2019 г.
Формат 60×84/16. Бумага офисная.
Печать – цифровая. Усл.-печ. л. 14,11.
Тираж 300 экз. Заказ № 19окт124/1а.
Донецкий национальный университет
83001, г. Донецк, ул. Университетская, 24.
Свидетельство о внесении субъекта
издательской деятельности в Государственный реестр
серия ДК № 1854 от 24.06.2004 г.