

**РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ
(СЛАВЯНСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ**

**ОДИННАДЦАТАЯ ГОДИЧНАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

Сборник статей

**ЕРЕВАН
ИЗДАТЕЛЬСТВО РАУ
2017**

**ՌՈՒՍԱՍՏԱՆԻ ԳԱՇՆՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ
ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ**

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅ-ՌՈՒՍԱԿԱՆ (ՍԼԱՎՈՆԱԿԱՆ) ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

ՏԱՄՆԵԿԵՐՈՐԳ ՏԱՐԵԿԱՆ ԳԻՏԱԺՈՂՈՎ

5–9 դեկտեմբերի 2016 թ.

Հողվածների ժողովածու

**ԵՐԵՎԱՆ
ՌՀՀ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ
2017**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ**

РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ

**ОДИННАДЦАТАЯ ГОДИЧНАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

5–9 декабря 2016 г.

Сборник статей

**ЕРЕВАН
ИЗДАТЕЛЬСТВО РАУ
2017**

УДК 5:06

ББК 22

О-422

*Печатается по решению Ученого и Редакционно-издательского
советов РАУ*

Редакционная коллегия:

А.Р. Дарбинян (председатель), П.С. Аветисян (заместитель председателя),
Э.М. Казарян, Г.Р. Вардапетян, Г.Г. Казарян, Г.А. Карапетян, А.А. Манукян,
С.Г. Петросян, Д.Г. Асатрян, Г.Г. Данагулян, А.А. Саркисян, А.П. Енгоян,
В.А. Геворкян, В.Г. Аветисян, А.В. Папоян, А. Аракелян, А.С. Овакимян.

**О-422 Одиннадцатая Годичная научная конференция (5–9 декабря
2016 г.): Сборник научных статей: Физико-математические и
естественные науки. – Ер.: Изд-во РАУ, 2017. 204 с.**

Сборник печатается по материалам 11-ой Годичной научной
конференции, проведенной в Российско-Армянском (Славянском)
университете. Статьи публикуются в алфавитном порядке.

Публикация сборника осуществлена также в соответствии с
требованиями ВАК РА к сборникам научных трудов.

Сборник включен в базу данных РИНЦ (Российский индекс науч-
ного цитирования).

УДК 5:06

ББК 22

ISBN 978-9939-67-183-3

© Издательство РАУ, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

МАТЕМОДЕЛИРОВАНИЕ

Аракелян М.К., Петросян Г.А. Теоремы вложения для трехмерных мультианизотропных пространств с двумя вершинами анизотропности	7
Берберян С.Л. Об угловых граничных значениях гармонических функций	13
Варданян И.А. Численное исследование устойчивости решения одной краевой задачи	19
Дарбинян А.А., Туманян А.Г. Об априорной оценке и нетеровости в анизотропных пространствах Соболева	27
Маргарян В.Н., Казарян Г.Г. Об одном классе почти гипоеллиптических многочленов	32
Микилян М.А., Аспатурян А., Петросян В.А. Устойчивость прямоугольной пластинки в сверхзвуковом потоке газа	40
Тоноян Г.Г. Число Зайденберга-Тарского для одного класса многочленов	50

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

Асланян А.Т. Об автоморфизмах относительно свободных групп	56
Aratyan R. To solution the spherical radon equation	60

ИНФОРМАТИКА

Азнаурян Л.А. Исследование моделей и алгоритмических методов для анализа музыкальных произведений	67
Ахумян И.В., Карапетян А.Г. Оценка качества тестовых заданий с целью оптимизации учебно-методического процесса	77
Ваградян В.Г., Апозян Т.Ф. Проблемы семантического анализа предложения (на примере восточно-армянского литературного языка)	85
Мелконян А.А. Построение фракталов с использованием L-систем.....	93
Нахатакян С.Х., Гаспарян А.В., Сардарян Г.Р. Обнаружение и локализация неисправностей в аппаратно–программных комплексах...	100
А.С. Овакимян, С.Г. Саркисян, В.И. Шевченко Об автоматической генерации экспертных систем	111

С.Г. Саркисян, А.С. Овакимян, Е.Н. Машенко Временные ряды в задачах прогнозирования	120
--	-----

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

В.Г. Аветисян, А.А. Багдасарян, Р.А. Давтян Проектирование линии передачи миллиметровых волн с подвижными сочленениями сверхразмерных волноводов	127
В.Г. Аветисян, А.А. Мартиросян Конструкция Чебышевского перехода от одномодового прямоугольного волновода к круглому волноводу с волной типа H_{11}°	132
Л.А. Матевосян, А.В. Маргарян, К.Э. Авджян, С.Г. Петросян Инфракрасный фотоприемник на основе гетероперехода (P)INSB–(N)CDTE	137
Ս.Ս. Մալիլյան, Գ.Ս. Ավետյան Պրոբլեմային խնդիրներ էլեկտրաառանցիկական եվ էլեկտրադինամիկական տիպի չափիչ սարքերի վերաբերյալ	143
М.А. Погосян Использование щелочных фторфосфатных стекол в качестве активных добавок в синтетические шлифовальные инструменты	153

БИОЛОГИЯ

V. Hayrapetyan, L. Karapetyan, R. Wyman, R. Zakharyan, A. Arakelyan Cystatin 3 gene rs 3827143 polymorphism as a protective factor for schizophrenia	159
А. Акопян, Э.А. Арабян, О.С. Закарян In vitro ингибирование вируса африканской чумы свиней посредством водорастворимых аналогов периленовых нуклеозидов	167
Ս.Ամիրջանյան, Ս.Ս.Հովհաննիսյան Քրոմոսոմ 21՝ «եվգենիկա»	175
М.А. Никогосян, А.А. Оганесян, А.А. Аракелян Анализ распространенных генетических вариантов, вовлеченных в развитие комплексных заболеваний в армянской популяции	182

ХИМИЯ

А.С. Никогосян, А.Н. Кочарян, М.З. Петросян, Н.А. Авакян Адсорбционный метод очистки от ароматических соединений	191
А.А. Симонян, М.З. Петросян Математическая модель процесса адсорбции при очистке сточных вод	198

МАТЕМОДЕЛИРОВАНИЕ

ТЕОРЕМЫ ВЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ МУЛЬТИАНИЗОТРОПНЫХ ПРОСТРАНСТВ С ДВУМЯ ВЕРШИНАМИ АНИЗОТРОПНОСТИ

М.К. Аракелян, Г.А. Петросян

Российско-Армянский университет

michael.arakel@gmail.com, heghin.petrosyan@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В данной статье получено специальное интегральное представление для функций из мультианизотропного пространства Соболева, когда многогранник Ньютона имеет две вершины анизотропности и, применяя данное представление, доказываются теоремы вложения для функций, принадлежащих вышеуказанным классам.

Ключевые слова: мультианизотропное пространство, теоремы вложения, интегральное представление, мультианизотропный многочлен.

Введение

Данная работа является продолжением работ [1–2], где доказаны теоремы вложения для мультианизотропных пространств в том случае, когда характеристический многогранник имеет одну вершину анизотропности. Ниже изучается трехмерный случай, когда многогранник имеет две вершины анизотропности. Здесь трудность заклю-

чается в том, что при получении соответствующих оценок нужно выбрать «доминирующую» грань, что и делается в работе. Отметим, что история теорем вложения начинается из работ С.Л. Соболева (см. [3–4]), а потом эти результаты для анизотропных пространств были продолжены разными математиками. Отметим из них работы [5–10], а также книгу [11], где можно найти историю вопроса и разные результаты.

1. Мультианизотропные экспоненты и их свойства

Для произвольного параметра $\nu > 0$ и натурального числа k обозначим через

$$P(\nu, \xi) = \sum_{i=1}^5 \left(\nu \xi^{\alpha^i} \right)^{2k}.$$

$$G_0(\nu, \xi) = e^{-P(\nu, \xi)}.$$

$$G_{1,j}(\nu, \xi) = 2k \left(\nu \xi^{\alpha^j} \right)^{2k-1} e^{-P(\nu, \xi)}, \quad (j = 1, \dots, 5).$$

А также обозначим через $\hat{G}_0(t, \nu)$, $\hat{G}_{1,j}(t, \nu)$, $(j = 1, \dots, 5)$ преобразование Фурье данных функций. Очевидно, что $G_0, G_{1,j}, \hat{G}_0, \hat{G}_{1,j} \in S$, где $S = S(\mathbb{R}^3)$ – множество быстро убывающих на бесконечности бесконечно дифференцируемых функций.

Для любого мультииндекса $m = (m_1, m_2, m_3)$ обозначим через:

$$I = I(\nu) = \int_{\mathbb{R}^3} \xi_1^{m_1} \xi_2^{m_2} \xi_3^{m_3} e^{-P(\nu, \xi)} d\xi_1 d\xi_2 d\xi_3$$

и изучим поведение функции $I(\nu)$ в зависимости от $\nu: 0 < \nu < 1$.

Лемма. Для любого мультииндекса $m = (m_1, m_2, m_3)$ существуют постоянные C_0, C_1, C_2 такие, что для любого $\nu: 0 < \nu < 1$ имеет место неравенство

$$|I(\nu)| \leq (C_2 |\ln \nu|^2 + C_1 |\ln \nu| + C_0) \nu^{-\max_{i=1, \dots, 5} |\mu^i|}.$$

2. Усреднение функций и интегральное представление через мультианизотропные ядра

Для любой функции f рассмотрим усреднение функции с ядром усреднения $\hat{G}_0(t, \nu)$:

$$f_\nu(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} R^3} \int_{R^3} f(t) \hat{G}_0(t-x, \nu) dt.$$

Тогда функция $f_\nu(x)$ будет обладать обычными свойствами усреднения, т.е.

Лемма. Если $f \in L_p(\mathbb{R}^3)$, $1 < p < \infty$, то $f_\nu \in L_p(\mathbb{R}^3)$, $\|f_\nu\|_{L_p(\mathbb{R}^3)} \rightarrow 0$ при $\nu \rightarrow \infty$ и $\lim_{\nu \rightarrow 0} \|f_\nu - f\|_{L_p(\mathbb{R}^3)} = 0$.

Как и в работе [2] (см. Теорема 3.1), с помощью усреднения (3.1) мы можем доказать следующую теорему об интегральном представлении.

Теорема. Пусть для функции f существуют производные $D^{\alpha^i} f$, ($i=1, \dots, 5$), где α^i – вершины вполне правильного многогранника \mathfrak{R}_u . $D^{\alpha^i} f \in L_p(\mathbb{R}^3)$, $1 \leq p < \infty$, ($i=1, \dots, 5$). Тогда для почти всех $x \in \mathbb{R}^3$ имеет место представление

$$f(x) = f_h(x) + \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \sum_{i=1}^5 \frac{1}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} \varepsilon} \int_{R^3}^h D^{\alpha^i} f(t) \hat{G}_{1,i}(t-x, \nu) dt.$$

3. Теоремы вложения для мультианизотропных пространств

Обозначим через $W_p^{\mathfrak{R}}(\mathbb{R}^3) = \{f : f \in L_p(\mathbb{R}^3), D^{\alpha^i} f \in L_p(\mathbb{R}^3), i=1, \dots, 5\}$ и назовем мультианизотропными пространствами С.л. Соболева.

Имеет место следующая теорема вложения (для доказательства см. [2] Теорема 4.1):

Теорема 1. Пусть $\gamma_1 < \gamma_2 < \gamma_3$, p и q ($p \leq q$) такие числа, что $1 < p \leq \infty$ или $1 \leq p < \infty$ при $q = \infty$, $m = (m_1, m_2, m_3)$ – мультииндекс. Обозначим через

$$\chi = \max_{i=1, \dots, 5} (|\mu^i| + (m, \mu^i)) - |\mu^1| \left(1 - \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \right).$$

Тогда при $\chi < 1$ $D^m W_p^{\text{R}}(\mathbb{R}^3) \hookrightarrow L_q(\mathbb{R}^3)$, т.е. любая функция $f \in W_p^{\text{R}}(\mathbb{R}^3)$ имеет обобщенную производную $D^m f$, принадлежащую классу $L_q(\mathbb{R}^3)$, и для любого $h > 0$ имеет место неравенство

$$\begin{aligned} \|D^m f\|_{L_q(\mathbb{R}^3)} &\leq h^{1-\chi} \left(a_2 |\ln h|^2 + a_1 |\ln h| + a_0 \right) \sum_{i=1}^5 \|D^{\alpha^i} f\|_{L_p(\mathbb{R}^3)} \\ &+ h^{-\chi} \left(b_2 |\ln h|^2 + b_1 |\ln h| + b_0 \right) \|f\|_{L_p(\mathbb{R}^3)}, \end{aligned}$$

где $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ некоторые постоянные, не зависящие от f и h .

ЛИТЕРАТУРА

1. Karapetyan G. Integral representation of functions and embedding theorems for multianisotropic spaces on a plane with one vertex of anisotropy. // Journal of Contemporary Mathematical Analysis (Armenian Academy of Sciences), v. 51, № 1. PP. 1–10, 2016.
2. Karapetyan G. Integral representation of functions and embedding theorems for multianisotropic spaces for the three-dimensional case // Eurasian Mathematical Journal, v. 7, № 2. PP. 19–37, 2016.
3. Sobolev S. On a theorem of functional analysis // Mat. Sb., v. 4. PP. 471–497, 1938, English transl., Amer. Math. Soc. Transl., v. 34, № 2. PP. 39–68, 1963.
4. Sobolev S. Some applications of functional analysis in mathematical physics // Novosibirsk, 1988.

5. *Nikolskii S.* On a problem of S. L. Sobolev // Siberian Mathematical Journal, v. 3, № 6. PP. 845–857, 1962.
6. *Smith K.* Inequalities for formally positive integro-differential forms // Bull. Amer. Math. PP. 368–370, 1961.
7. *Il'in V.P.* Integral representations of differentiable functions and their application to questions of continuation of functions of classes $W_p^1(G)$. // Siberian Mathematical Journal, v. 8, № 3. PP. 573–586, 1967.
8. *Il'in V.P.* On inequalities between the norms of partial derivatives of functions of several variables. // Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics of the USSR, v. 84. PP. 144–173, 1965.
9. *Uspenskii S.* On the representation of functions determined by one class of hyperelliptic operators. // Proceedings of Mathematical Institute of USSR Academy of Sciences, v. 117. PP. 292–299, 1972.
10. *Besov O.* On coercitivity in nonisotropic Sobolev spaces // Mathematics of the USSR-Sbornik, v.2, № 4. PP. 521–534, 1967.
11. *Besov O., V.P. Il'in, S.M. Nikolskii.* Integral representations of functions and embedding theorems. // Nauka, Moscow (in Russian). P. 480, 1975.

**EMBEDDING THEOREMS FOR THE
THREE-DIMENSIONAL MULTIANISOTROPIC SPACES
WITH TWO VERTICES OF ANISOTROPICITY**

M. Araqelyan, H. Petrosyan

Russian-Armenian University

michael.arakel@gmail.com, heghin.petrosyan@gmail.com

ABSTRACT

In current work we present a special integral representation of functions in the multianisotropic Sobolev spaces in the case when the Newton polyhedron has two vertices of anisotropy. Using this representation, we prove embedding theorems of the abovementioned classes.

Keywords: multianisotropic spaces, embedding theorems, integral representation, multianisotropic polynomial.

ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԹԵՈՐԵՄՆԵՐ
ԱՆԻՉՈՏՐՈՊՈՒԹՅԱՆ ԵՐԿՈՒ ԳԱԳԱԹՆԵՐՈՎ ԵՌԱՉԱՓ
ՄՈՒԼՏԻԱՆԻՉՈՏՐՈՊ ՏԱՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ

Մ.Կ. Առաքելյան, Հ.Ա. Պետրոսյան

Հայ-Ռուսական համալսարան

michael.arakel@gmail.com, heghin.petrosyan@gmail.com

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքում ստացվում են հատուկ ինտեգրալային ներկայացումներ այն ֆունկցիաների համար, որոնք պատկանում են Մոբլիսի մուլտիանիզոտրոպ տարածություններին: Քննարկվում է այն դեպքը, երբ համապատասխան Նյուտոնյան բազմանիստն ունի անիզոտրոպության երկու զագաթներ: Կիրառելով ստացված ինտեգրալային ներկայացումները, նշված դասի ֆունկցիաների համար, ապացուցվում են նաև ներդրման թեորեմներ:

Հիմնաբառեր՝ մուլտիանիզոտրոպ տարածություններ, ներդրման թեորեմներ, ինտեգրալային ներկայացումներ, մուլտիանիզոտրոպ բազմանդամ:

ОБ УГЛОВЫХ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ГАРМОНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ*

С.Л. Берберян

Российско-Армянский университет

samvel357@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В данной статье исследуются в произвольной точке единичной окружности угловые пределы гармонических функций, определенных в единичном круге.

Ключевые слова: угловой предел, гармонические функции, нормальные функции.

В дальнейшем будем придерживаться общепринятых обозначений. Обозначим через D , Γ и $h(\xi, \varphi)$ соответственно единичный круг $|z| < 1$, единичную окружность $|z| = 1$ и хорду единичного круга D , оканчивающуюся в точке $\xi = e^{i\theta} \in \Gamma$ и образующую с радиусом в этой точке угол φ ; $-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$. Пусть $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ обозначает подобласть круга D , ограниченную хордами $h(\xi, \varphi_1)$ и $h(\xi, \varphi_2)$. Область $\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ называют обычно углом Штольца с вершиной в точке $\xi = e^{i\theta} \in \Gamma$ и если нас не интересует размер угла Штольца, мы будем

* Работа выполнена в рамках тематического финансирования РАУ из средств МОБНRF.

обозначать его кратко $\Delta(\xi)$. Обозначим через $L(\xi, \varphi)$ гиперцикл, проходящий через точки $\xi = e^{i\theta}$, $-\xi$ и который образует угол φ с диаметром Λ^θ , соединяющим точки ξ и $-\xi$. Пусть $H(\xi, \varphi_1, \varphi_2)$ область, ограниченная двумя гиперциклами $L(\xi, \varphi_1)$ и $L(\xi, \varphi_2)$. Интерпретируя круг D , как модель плоскости в геометрии Лобачевского, обозначим через $\sigma(z_1, z_2)$ неевклидовое расстояние между точками z_1, z_2 из круга D :

$$\sigma(z_1, z_2) = \frac{1}{2} \ln \frac{1+u}{1-u}, \text{ где } u = \left| \frac{z_1 - z_2}{1 - z_1 \bar{z}_2} \right|.$$

Рассмотрим действительнзначную функцию $f(z)$. Для произвольного подмножества S круга D , для которого точка $\xi \in \Gamma$ является предельной точкой, обозначим через $C(f, \xi, S)$ предельное множество функции $f(z)$ в точке ξ относительно множества S , т.е. $C(f, \xi, S) = \overline{\bigcap f(S \cap U(\xi))}$, где пересечение берется по всем окрестностям $U(\xi)$ точки ξ , а черта означает замыкание множества относительно двухточечной компактификации \bar{R} множества $R = (-\infty, +\infty)$ в виде отрезка посредством добавления к точкам множества R символов $-\infty$ и $+\infty$. Точку $\xi \in \Gamma$ отнесем к множеству $F(f)$, если $C(f, \xi, \Delta(\xi))$ состоит из единственного значения α . В этом случае говорят, что функция $f(z)$ имеет в точке $\xi \in \Gamma$ угловой предел α . Множество $F(f)$ называется множеством точек Фату для функции $f(z)$.

Понятие нормальной функции, рассмотренное для мероморфных функций и состоящее в свойстве порождать нормальное семейство на группе T всех конформных автоморфизмов области определения, было затем перенесено на гармонические и субгармонические функции. В случае единичного круга D группа T состоит из элементов $T = \{S(z); S(z) = e^{i\alpha} (z + a) \cdot (1 + \bar{a}z)^{-1}, a - \text{произвольная точка в } D,$

α – произвольное действительное число}. Придерживаясь обозначений из работы [1], скажем, что действительная функция $f(z) \in \mathfrak{R}$, если на группе T всех конформных автоморфизмов единичного круга D порождается ею семейство функций $\Phi : \{f(S(z)); S(z) \in T\}$ нормально в D в смысле Монтеля, т.е. из любой последовательности $\{f(S_n(z))\}$, семейства Φ , где $S_n(z) \in T$ можно извлечь подпоследовательность $\{f(S_{n_k}(z))\}$, равномерно сходящуюся на любом компакте K в D или равномерно сходящуюся к $-\infty$ или к $+\infty$ на K . В статье [1] В.И. Гавриловым была сформулирована общая задача об изучении граничных свойств мероморфных функций, порождающих нормальные семейства на подгруппах группы T . Была рассмотрена подгруппа $T^\theta = \{S_a^\theta(z); S_a^\theta(z) = (z + ae^{i\theta}) \cdot (1 + aze^{-i\theta})\}$, где $a \in (-1, 1)$ и $\theta, 0 \leq \theta < \pi$ – фиксировано}. Действительнозначную функцию $f(z)$ отнесем к классу \mathfrak{R}^θ , где $0 \leq \theta < \pi$ – фиксировано, если порождается ею семейство функций $\Phi^\theta = \{f(S_a^\theta(z)); S_a^\theta \in T^\theta\}$ нормально в D в смысле Монтеля. Изучению угловых пределов у гармонических функций посвящены многие работы. В частности, близкие работы рассматривались в работах [2], [3] и [4].

Сформулируем основные результаты данной работы.

Теорема 1. Пусть $f(z)$ -произвольная гармоническая функция, определенная в D . Для того, чтобы функция $f(z)$ имела в точке $\xi \in \Gamma$ угловой предел β , необходимо и достаточно, чтобы:

1) предельное множество $C(f, \xi, \Delta(\xi))$ было ограничено сверху (или снизу) в любом углу $\Delta(\xi)$ числом $\beta \in C(f, \xi, \Delta(\xi))$;

2) существовала такая последовательность $\{z_n\}$, лежащая в некотором углу $\Delta(\xi)$, для которой $z_n \rightarrow \xi$,
 $\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \sigma(z_n, z_{n+1}) \leq M < +\infty$;

3) существует предел $\lim_{n \rightarrow \infty} f(z_n)$.

Теорема 2. Пусть $f(z)$ – произвольная гармоническая функция, определенная в D . Для того, чтобы функция $f(z)$ имела в точке $\xi \in \Gamma$ угловой предел α , необходимо и достаточно, чтобы:

- 1) предельное множество $C(f, \xi, \Delta(\xi))$ было ограничено сверху (или снизу) в любом углу $\Delta(\xi)$.
- 2) существовали две такие последовательности $z_n \in h(\xi, \varphi_1)$, $z'_n \in h(\xi, \varphi_2)$, $z_n \rightarrow \xi$, $z'_n \rightarrow \xi$ при $n \rightarrow \infty$, для которых $\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(z_n, z_{n+1}) = \lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(z'_n, z'_{n+1}) = 0$, и справедливо соотношение $\lim_{n \rightarrow \infty} f(z_n) = \lim_{n \rightarrow \infty} f(z'_n) = \alpha$.

Пример функции $f(z) = \arg(1 - z)$ показывает, что утверждение теоремы 2 не имеет место при наличии существования предела только по одной хорде.

В качестве следствия получим следующее утверждение:

Теорема 3. Пусть $f(z)$ – гармоническая функция класса \mathfrak{R}^θ . Для того, чтобы функция $f(z)$ имела в точке $\xi = e^{i\theta}$ угловой предел α , необходимо и достаточно существование двух таких последовательностей $z_n \in h(\xi, \varphi_1)$, $z'_n \in h(\xi, \varphi_2)$, $z_n \rightarrow \xi$, $z'_n \rightarrow \xi$ при $n \rightarrow \infty$, $\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(z_n, z_{n+1}) = \lim_{n \rightarrow \infty} \sigma(z'_n, z'_{n+1}) = 0$, для которых справедливо соотношение $\lim_{n \rightarrow \infty} f(z_n) = \lim_{n \rightarrow \infty} f(z'_n) = \alpha$.

Утверждения теорем 2 и 3 ранее было получено американским математиком Миком [5] при значительно более жестких условиях для гармонических функций $f(z) \in \mathfrak{R}$.

При доказательстве основных результатов существенно используется следующее утверждение.

Лемма. Пусть $f(z)$ – произвольная гармоническая функция, определенная в D , и предельные множества $C(f, \xi, \Delta(\xi))$ ограничены

сверху (или снизу) для любого угла $\Delta(\xi)$. Если предельные множества $C(f, \xi, h(\xi, \varphi_1))$ и $C(f, \xi, h(\xi, \varphi_2))$ ограничены сверху числом α (или ограничены снизу числом α) для двух хорд $h(\xi, \varphi_1)$ и $h(\xi, \varphi_2)$, то и предельное множество $C(f, \xi, \overline{\Delta(\xi, \varphi_1, \varphi_2)})$ ограничено сверху числом α (или ограничено снизу числом α).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гаврилов В.И.* Нормальные функции и почти периодические функции. // ДАН СССР, 1978, т.240, № 4. СС. 768–770.
2. *Берберян С.Л.* О некоторых достаточных условиях существования угловых граничных значений у гармонических функций. // Сборник научных статей, Изд-во РАУ, 2012. СС. 12–18.
3. *Берберян С.Л.* Об угловых граничных значениях гармонических функций, порождающих нормальные семейства на подгруппах автоморфизмов о круга // ДНАН Армении, 2005, том 105, № 4. СС. 323–327.
4. *Гаврилов В.И., Захарян В.С., Субботин А.В.* Линейно-топологические свойства максимальных пространств Харди гармонических функций в круге. // ДНАН Армении, 2002, т.102, № 3. СС. 203–209.
5. *Meek J.* Of Fatous points of normal subharmonic functions. // *Mathematica Japonica*, 1977, vol.22, № 3. СС. 309–314.

ABOUT ANGULAR BOUNDARY VALUES OF HARMONIC FUNCTIONS

S. Berberyan

Russian-Armenian University

samvel357@mail.ru

ABSTRACT

This article examines angular limits of harmonic functions at an arbitrary point of the unit circle defined on the unit circle.

Keywords: angular limit, harmonic functions, normal functions.

ՀԱՐՄՈՆԻԿ ՖՈՒՆԿՑԻԱՆԵՐԻ ԱՆԿՑՈՒՆԱՅԻՆ ԵԶՐԱՅԻՆ ԱՐԺԵՔՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ս. Լ. Բերբերյան

Հայ-Ռուսական համալսարան

samvel357@mail.ru

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքում ուսումնասիրվում են միավոր շրջանում որոշված հարմոնիկ ֆունկցիաների անկյունային սահմանները միավոր շրջանագծի կամայական կետում:

Հիմնաբառեր՝ անկյունային սահման, հարմոնիկ ֆունկցիաներ, նորմալ ֆունկցիաներ:

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЯ ОДНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ

И.А. Варданиян

irena_123@bk.ru

АННОТАЦИЯ

Рассматривается краевая задача для дифференциального уравнения с частными производными четвертого порядка. Задача имеет конкретный физическо-механический характер и представляет класс задач аэроупругости. Разработан численный метод решения поставленной задачи, т.е. нахождения собственных значений сформулированной краевой задачи.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение с частными производными, Краевая задача, Устойчивость решения, Численное решение.

Постановка задачи

Рассмотрим следующее дифференциальное уравнение с частными производными относительно неизвестной функции $w(x, y, t)$ в прямоугольной области $0 < x < a$, $0 < y < b$

$$D\Delta^2 w + A \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + B \frac{\partial w}{\partial t} + C \left(\frac{\partial w}{\partial t} + U \frac{\partial w}{\partial x} \right) = 0 \quad (1)$$

со следующими условиями на границах области:

$$w|_{x=0} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \Big|_{x=0} = 0, \quad w|_{x=a} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \Big|_{x=a} = 0 \quad (2)$$

$$w|_{y=0} = \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \Big|_{y=0} = 0, \quad w|_{y=b} = \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \Big|_{y=b} = 0 \quad (3)$$

где $w(x, y, t)$ функция, которая имеет все производные до 4 степени включительно; Δ – двумерный гармонический оператор; A, B, C, D –

заданные постоянные, а U – неизвестная постоянная. Легко заметить, что задача (1–3) является однородной краевой задачей.

Приведение задачи к нахождению корней системы трансцендентных уравнений

Для решения поставленной задачи применим метод разделения переменных (метод Фурье). Решение уравнения (1) удовлетворяющее краевым условиям (3) представим в виде:

$$w(x, y, t) = w_1(x, t) \sin \frac{n\pi}{b} y \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (4).$$

Подставляя (4) в уравнение, (1) получим, что функция $w_1(x, t)$ является решением следующего уравнения:

$$D \left[\frac{\partial^4 w_1}{\partial x^4} - 2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4 w_1 \right] + A \frac{\partial^2 w_1}{\partial t^2} + B \frac{\partial w_1}{\partial t} + C \left(\frac{\partial w_1}{\partial t} + U \frac{\partial w_1}{\partial x} \right) = 0 \quad (5).$$

Из представления (4) следует, что для выполнения условий (2) нужно, чтобы функция $w_1(x, t)$ удовлетворяла следующим краевым условиям:

$$w_1|_{x=0} = \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} \Big|_{x=0} = 0, \quad w_1|_{x=a} = \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} \Big|_{x=a} = 0 \quad (6).$$

Опять, применяя метод разделения переменных относительно уравнения (5), решение его представим в виде:

$$w_1(x, t) = W(x) e^{st} \quad (7).$$

Подставляя (7) в уравнение (5) и краевые условия (6), получим следующую краевую задачу относительно функции $W(x)$:

$$D \left[W'''' - 2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 W'' + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4 W \right] + As^2 W + Bs W + C(sW + UW') = 0 \quad (8).$$

$$W|_{x=0} = W''|_{x=0} = 0, \quad W|_{x=a} = W''|_{x=a} = 0 \quad (9).$$

В (8–9) сделав замену переменных

$$\xi = \frac{x}{a} \Rightarrow W(x) \rightarrow W(\xi(x)) \Rightarrow W'_x = \frac{dW}{d\xi} \frac{d\xi}{dx} = \frac{1}{a} \frac{dW}{d\xi}$$

после некоторых преобразований, получим:

$$\frac{d^4 W}{d\xi^4} - 2k\pi^2 \frac{d^2 W}{d\xi^2} + k^2 \pi^4 W + \beta \frac{dW}{d\xi} - \lambda W = 0 \quad (10),$$

где $k = n^2 \varphi^2$; $\varphi = \frac{a}{b}$; $\lambda = \varpi^2 = \frac{As^2 + (B+C)s}{D} a^4$

Итак, мы привели задачу к нахождению ненулевых решений уравнения (10), зависящих от неизвестного параметра U . Известно, что тривиальное решение асимптотически устойчиво, если $\text{Re } s < 0$, так как в обратном случае функция $w_1(x, t)$, а также само решение $w(x, y, t)$ не будет стремиться к нулю, и, следовательно, не будет асимптотически устойчивым. При этом решение будет асимптотически устойчивым до тех пор, пока условие $\text{Re } s < 0$ не будет нарушено, то есть до того момента, когда $\text{Re } s$ впервые перейдет с отрицательной полуоси на положительную. Этот момент назовем критическим.

Перейдем к решению уравнения (10). Для этого составим соответствующий характеристический многочлен:

$$r^4 - 2k\pi^2 r^2 + \beta r + k^2 \pi^4 - \lambda = 0$$

Допустим $r_1 = \mu + i\nu$, $r_2 = \mu - i\nu$ являются корнями характеристического многочлена, найдем 2 других корня. Так как r_1 и r_2 – корни, то многочлен нацело делится на $(r - r_1)(r - r_2)$.

$$\begin{aligned} (r - r_1)(r - r_2) &= r^2 - 2\mu r + \mu^2 + \nu^2 \\ r^4 - 2k\pi^2 r^2 + \beta r + k^2 \pi^4 - \lambda &= \\ (r^2 - 2\mu r + \mu^2 + \nu^2)(r^2 + 2\mu r + 3\mu^2 - \nu^2 - 2k\pi^2) &+ \\ + (2\mu(3\mu^2 - \nu^2 - 2k\pi^2) - 2\mu(\mu^2 + \nu^2) - \beta)r - & \\ - (\mu^2 + \nu^2)(3\mu^2 - \nu^2 - 2k\pi^2) + k^2 \pi^4 - \lambda &= 0 \\ r^2 + 2\mu r + 3\mu^2 - \nu^2 - 2k\pi^2 &= 0 \\ \frac{D}{4} = \mu^2 - 3\mu^2 + \nu^2 + 2k\pi^2 = \nu^2 - 2\mu^2 + 2k\pi^2 & \\ r_{3,4} = -\mu \pm \sqrt{\nu^2 - 2\mu^2 + 2k\pi^2} & \end{aligned}$$

Кроме этого, остаток от деления тоже должен равняться нулю, из этого получим:

$$\begin{aligned}
& (2\mu(3\mu^2 - v^2 - 2k\pi^2) - 2\mu(\mu^2 + v^2) - \beta)r - \\
& - (\mu^2 + v^2)(3\mu^2 - v^2 - 2k\pi^2) + k^2\pi^4 - \lambda = 0 \\
& \begin{cases} 4\mu(\mu^2 - v^2 - k\pi^2) - \beta = 0 \\ (\mu^2 + v^2)(3\mu^2 - v^2 - 2k\pi^2) - \lambda = 0 \end{cases}
\end{aligned}$$

Удовлетворяя краевым условиям (9), получаем следующее уравнение:

$$\Delta(k, \lambda, \beta) = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ r_1^2 & r_2^2 & r_3^2 & r_4^2 \\ e^{-r_1} & e^{-r_2} & e^{-r_3} & e^{-r_4} \\ r_1^2 e^{-r_1} & r_2^2 e^{-r_2} & r_3^2 e^{-r_3} & r_4^2 e^{-r_4} \end{vmatrix} = 0 \quad (11).$$

Подставляя найденные выражения для корней характеристического уравнения в (11), после некоторых преобразований получим следующую систему трансцендентных уравнений относительно неизвестных величин μ и v :

$$\begin{aligned}
\beta &= 4\mu(v^2 - \mu^2 + k\pi^2) \\
\mu^2(\operatorname{ch}2\mu - \operatorname{ch}\sqrt{v^2 - 2\mu^2 + 2k\pi^2} \cos v) &+ \\
+ \frac{(\mu^2 - v^2 - k\pi^2)^2 + 2\mu^2(\mu^2 - k\pi^2)}{\sqrt{v^2 - 2\mu^2 + 2k\pi^2}} \frac{\sin v}{2v} \operatorname{sh}\sqrt{v^2 - 2\mu^2 + 2k\pi^2} &= 0
\end{aligned} \quad (12).$$

В систему (12) кроме указанных неизвестных входят также параметры k и β . Параметр β соответствует неизвестной U , входящей в исходное уравнения (1). Далее при помощи численных методов нам предстоит решить эту систему.

Численное решение поставленной задачи

Система (12) решена в среде Mathematica, составлена вычислительная программа, которая приведена в приложении статьи. Задача решена при различных фиксированных значениях параметра k , в зависимости от значения β . Значения параметра β последовательно увеличивается до тех пор, пока график функции Δ не будет иметь одну и толь-

ко одну точку пересечения с осью μ , что будет означать достижение критического значения.

При разных значениях k получаются следующие результаты:

k	β^* – критическая скорость	λ
0	343.35642628	1051.81
0.5	16.877679264;	32.4697
1	47.737285835	129.879
2	135	519.46

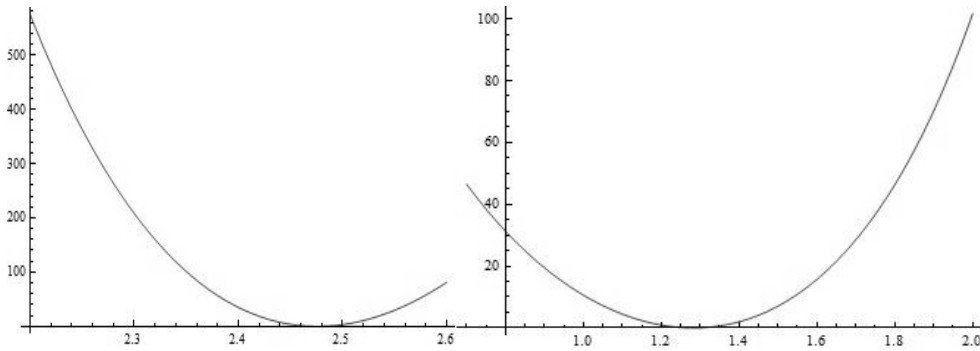


Рис. 1. График функции Δ при $k=0$ Рис. 2. График функции Δ при $k=0.5$

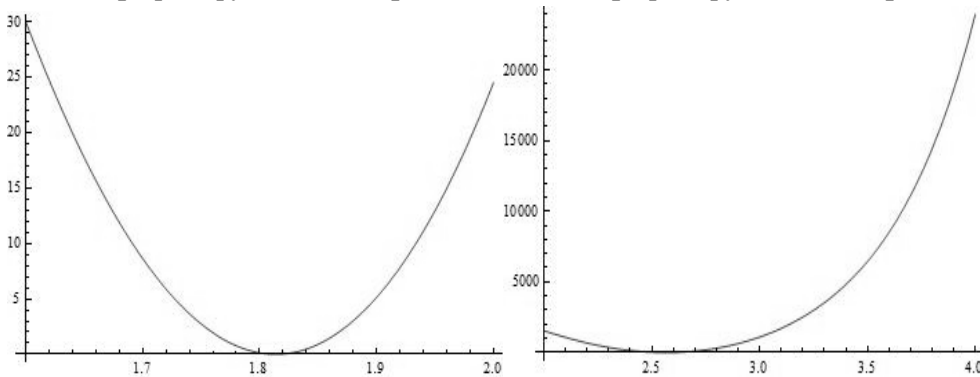


Рис. 3. График функции Δ при $k=1$ Рис. 4. График функции Δ при $k=2$

В заключении отметим, что полученные указанным методом критические значения параметра β совпадают с соответствующими значениями, полученными в книге [2] методом Галеркина.

Работа выполнена на кафедре математики и математического моделирования РАУ, в рамках проекта, финансируемого министерством образования РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курош А.Г. Курс высшей алгебры. М., Наука, 1971 г.
2. Болотин В.В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. М., Наука, 1961 г.

Приложение

$$Beta[\mu_-] = \sqrt{\frac{\beta}{4\mu} + \mu^2 - k * \pi^2}$$

$$\lambda[\mu_-, \nu_-] = k^2 * \pi^4 + (\mu^2 + \nu^2) * (\nu^2 - 3\mu^2 + 2k * \pi^2)$$

$$Reduce \left[\frac{(\nu^2 + k * \pi^2)^2}{\sqrt{\nu^2 + 2k * \pi^2}} * \frac{\sin[\nu]}{2\nu} * \sinh \left[\sqrt{\nu^2 + 2k * \pi^2} \right] == 0, \nu \right] // N$$

$$Plot \left[\frac{(\nu^2 + k * \pi^2)^2}{\sqrt{\nu^2 + 2k * \pi^2}} * \frac{\sin[\nu]}{2\nu} * \sinh \left[\sqrt{\nu^2 + 2k * \pi^2} \right], \{\nu, -100, 100\} \right]$$

$$b1 = \nu /. FindRoot \left[\frac{(\nu^2 + k * \pi^2)^2}{\sqrt{\nu^2 + 2k * \pi^2}} * \frac{\sin[\nu]}{2\nu} * \sinh \left[\sqrt{\nu^2 + 2k * \pi^2} \right] == 0, \{\nu, 6\} \right]$$

$$b2 = \nu /. FindRoot \left[\frac{(\nu^2 + k * \pi^2)^2}{\sqrt{\nu^2 + 2k * \pi^2}} * \frac{\sin[\nu]}{2\nu} * \sinh \left[\sqrt{\nu^2 + 2k * \pi^2} \right] == 0, \{\nu, 9\} \right]$$

$$\beta_1 = 0$$

$$\beta_2 = 0$$

$$\lambda[\beta_1, b_1]$$

$$\lambda[\beta_2, b_2]$$

$$\Delta[\mu, \nu] = \mu^2 * \left(\cosh[2\mu] - \cosh\left[\left(\sqrt{\nu^2 - 2\mu^2 + 2k * \pi^2}\right)\right] * \cos[\nu] \right) + \\ + \frac{(\nu^2 - \mu^2 + k * \pi^2)^2 + 2\mu^2(\mu^2 - k * \pi^2)}{\sqrt{\nu^2 - 2\mu^2 + 2k * \pi^2}} * \frac{\sin[\nu]}{2\nu} * \sinh[\sqrt{\nu^2 - 2\mu^2 + 2k * \pi^2}];$$

$$\beta = 0.1;$$

$$b_1 = \text{Betta}[\mu];$$

$$b_2 = \text{Betta}[\mu];$$

$$\text{Plot}[\Delta[\mu, b_1] \text{ } \Gamma\mathfrak{B}0, \{\mu, 0.01, 2.4\}]$$

$$\beta_1 = \mu / .\text{FindRoot}[\Delta[\mu, b_1] \text{ } \Gamma\mathfrak{B}0, \{\mu, 0.1\}]$$

$$\beta_2 = \mu / .\text{FindRoot}[\Delta[\mu, b_1] \text{ } \Gamma\mathfrak{B}0, \{\mu, 2\}]$$

$$\lambda[\beta_1, \text{Betta}[\beta_1]]$$

$$\lambda[\beta_2, \text{Betta}[\beta_2]]$$

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE STABILITY OF SOLUTION OF A BOUNDARY VALUE PROBLEM

I. Vardanyan

irena_123@bk.ru

ABSTRACT

A boundary value problem for a fourth order partial differential equation is considered. The problem has a specific physical-mechanical character and represents a class of problems of aeroelasticity. A numerical method for solving the problem, i.e., for calculating the eigenvalues of the formulated boundary value problem, is developed.

Keywords: partial differential equation, boundary value problem, stability of solution, numerical solution

**ՄԻ ԵԶՐԱՅԻՆ ԽՆԴՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ
ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆԹՎԱՅԻՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆ**

Ի.Ա. Վարդանյան

irena_123@bk.ru

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Դիտարկվում է եզրային խնդիր մասնական ածանցյալներով չորրորդ կարգի դիֆերենցիալ հավասարման համար: Խնդիրն ունի կոնկրետ ֆիզիկա-մեխանիկական բնույթ և ներկայացնում է աերոառաձգականության խնդիրների դասը: Մշակված է ձևակերպված խնդրի լուծման, այսինքն՝ դրված խնդրի սեփական արժեքների որոշման թվային մեթոդ:

Հիմնաբառեր՝ չորրորդ կարգի դիֆերենցիալ հավասարում, եզրային խնդիր, լուծման կայունություն, թվային լուծում:

ОБ АПРИОРНОЙ ОЦЕНКЕ И НЕТЕРОВОСТИ В АНИЗОТРОПНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ СОБОЛЕВА

А.А. Дарбинян, А.Г. Туманян

Российско-Армянский университет

armankri@yahoo.com, ani.tumanyan92@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В данной статье исследуется априорная оценка специального вида для дифференциальных операторов, действующих в анизотропных соболевских пространствах в \mathbb{R}^n . Изучаются условия на символ оператора, необходимые для выполнения априорной оценки. Получены достаточные условия для выполнения рассматриваемых априорных оценок.

Ключевые слова: нетеровость, индекс оператора, априорная оценка, полуэллиптический оператор.

В работе исследуется априорная оценка и нетеровость дифференциальных операторов, действующих в анизотропных соболевских пространствах функций, определенных на всем \mathbb{R}^n , устанавливается связь с полуэллиптичностью.

Для сингулярных интегро-дифференциальных операторов, определенных на гладких компактных многообразиях с краем и без края, М.С. Аграновичем (см. [1]) установлена эквивалентность нетеровости, выполнения априорной оценки и эллиптичности в определенных пространствах Соболева.

В работе [2] получены необходимые и достаточные условия для нетеровости и полуэллиптичности оператора с постоянными коэффициентами в ограниченной области, а в [3] получено необходимое и

достаточное условие нетеровости для операторов с постоянными коэффициентами в анизотропных пространствах в \mathbb{R}^n .

Определение 1. Ограниченный линейный оператор A , определенный на всем банаховом пространстве X и действующий в банаховом пространстве Y , называется нетеровым, если выполняются следующие условия:

- 1) область значений оператора A замкнута ($ImA = \overline{ImA}$).
- 2) ядро оператора A является конечномерным ($dim KerA < \infty$);
- 3) коядро оператора A конечномерно ($dim cokerA = dim Y / Im A < \infty$).

Индексом нетероваго оператора A назовем разность между размерностью ядра и коядра:

$$ind(A) = dim KerA - dim cokerA.$$

Определение 2. Ограниченный линейный оператор A , определенный на всем банаховом пространстве X и действующий в банаховом пространстве Y , называется «нормально разрешимым», если образ оператора замкнут ($ImA = \overline{ImA}$).

Обозначим:

$$C_b^\infty = \left\{ a(x) \in C^\infty(\mathbb{R}^n) : \sup_{x \in \mathbb{R}^n} |D^\beta a(x)| < \infty, \forall \beta \in Z_+^n \right\}.$$

Рассмотрим дифференциальное выражение

$$P(x, D) = \sum_{(\alpha, \nu) \leq s} a_\alpha(x) D^\alpha, \quad (1)$$

где

$$\nu \in Z_+^n, s \in N, (\alpha : \nu) = \frac{\alpha_1}{\nu_1} + \dots + \frac{\alpha_n}{\nu_n}, D^\alpha = D_1^{\alpha_1} \dots D_n^{\alpha_n}, D_k = -i \frac{\partial}{\partial x_k},$$

$$x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n, n \geq 2, a_\alpha(x) \in C_b^\infty,$$

а

$$P_s(x, D) = \sum_{(\alpha, \nu) = s} a_\alpha(x) D^\alpha \quad (2)$$

называется «главной частью дифференциального выражения» $P(x, D)$, и обозначим через

$$P_s(x, \xi) = \sum_{(\alpha, \nu)=s} a_\alpha(x) \xi^\alpha \quad (3)$$

символ главной части $P(x, D)$.

Определение 3. Скажем, что дифференциальная форма $P(x, \mathbb{D})$ является полуэллиптической в точке $x = x_0$, если

$$P_s(x_0, \xi) \neq 0, \forall \xi \in \mathbb{R}^n, |\xi| \neq 0.$$

Определение 4. Скажем, что дифференциальная форма $P(x, \mathbb{D})$ является полуэллиптической в \mathbb{R}^n , если $P(x, \mathbb{D})$ является полуэллиптическим в каждой точке $x \in \mathbb{R}^n$.

Определение 5. Для $k \in \mathbb{R}, \nu \in \mathbb{Z}_+^n$ через $H^{k, \nu}(\mathbb{R}^n)$ обозначим:

$$H^{k, \nu}(\mathbb{R}^n) \equiv \left\{ u \in S' : \|u\|_{k, \nu} = \left(\int |\hat{u}(\xi)|^2 (1 + |\xi|_\nu)^{2k} d\xi \right)^{\frac{1}{2}} < \infty \right\},$$

где $|\xi|_\nu = \left(\sum_{i=1}^n \xi_i^{2\nu_i} \right)^{1/2}$, S' – пространство обобщенных функций медленного роста, \hat{u} – преобразование Фурье функции u .

Теорема 1. Пусть $P(x, \mathbb{D}): H^{k, \nu}(\mathbb{R}^n) \rightarrow H^{k-s, \nu}(\mathbb{R}^n)$ удовлетворяет следующей оценке:

$$\|u\|_{k, \nu} \leq C \left(\|Pu\|_{k-s, \nu} + \|u\|_{L_2(\mathbb{R}^n)} \right), \forall u \in H^{k, \nu}(\mathbb{R}^n),$$

где C – положительная константа, независящая от u . Тогда $P(x, \mathbb{D})$ является полуэллиптическим в \mathbb{R}^n .

Следствие 1. Пусть $P(x, \mathbb{D}): H^{k, \nu}(\mathbb{R}^n) \rightarrow H^{k-s, \nu}(\mathbb{R}^n)$ нетеровый оператор. Тогда $P(x, \mathbb{D})$ является полуэллиптическим в \mathbb{R}^n .

Предложение 1. Пусть $P(x, \mathbb{D})$ полуэллиптическая в \mathbb{R}^n дифференциальная форма с постоянными коэффициентами в главной части. Тогда для $P(x, \mathbb{D}): H^{k, \nu}(\mathbb{R}^n) \rightarrow H^{k-s, \nu}(\mathbb{R}^n)$ выполняется следующая априорная оценка:

$$\|u\|_{k,\nu} \leq C \left(\|P_s u\|_{k-s,\nu} + \|u\|_{L_2(\mathbb{R}^n)} \right), \forall u \in H^{k,\nu}(\mathbb{R}^n)$$

при произвольном $k \in \mathbb{R}_+$ с некоторой положительной константой C , не зависящей от u .

Обозначим:

$$\Delta_0(P_s) = \max_{(\alpha,\nu)=s} \sup_{x \in \mathbb{R}^n} |a_\alpha(x) - a_\alpha(0)|, \delta = \delta(P_s) = \inf_{|\xi|_\nu=1} |P_s(0, \xi)|.$$

Предложение 2. Пусть $P(x, \mathbb{D})$ полуэллиптическая в \mathbb{R}^n дифференциальная форма. Тогда для произвольного $k \in \mathbb{R}$, $k \geq s$ существует $\varepsilon_0 = \varepsilon_0(k, \delta) > 0$, такое при $\Delta_0(P_s) < \varepsilon_0$ для $P(x, \mathbb{D}): H^{k,\nu}(\mathbb{R}^n) \rightarrow H^{k-s,\nu}(\mathbb{R}^n)$ выполняется следующая априорная оценка:

$$\|u\|_{k,\nu} \leq C \left(\|Pu\|_{k-s,\nu} + \|u\|_{L_2(\mathbb{R}^n)} \right), \forall u \in H^{k,\nu}(\mathbb{R}^n),$$

где C - положительная константа, не зависящая от u .

ЛИТЕРАТУРА

1. *Агранович М.С.* Эллиптические сингулярные интегродифференциальные операторы // Успехи Мат. Наук, 1965. Т. 20, вып. 5(125). СС. 3–120.
2. *Карпетян Г. А., Дарбинян А. А.* Нетеровость полуэллиптического оператора с постоянными коэффициентами в области. Уч. Записки ЕГУ, № 3, 2008.
3. *Дарбинян А. А., Туманян А.Г.* Необходимое и достаточное условие нетеровости оператора с постоянными коэффициентами. Вестник РАУ 2014 #2. Ер.: Изд-во РАУ, 2014. СС. 4–14.
4. *Крейн С.Г.* Линейные уравнения в банаховых пространствах. М.: Наука, 1971.

ON APRIORI ESTIMATES AND NOETHERICITY IN ANISOTROPIC SOBOLEV SPACES

A. Darbinyan, A. Tumanyan

ABSTRACT

We study apriori estimates for differential linear operators in anisotropic Sobolev spaces in \mathbb{R}^n . We establish conditions on the symbol of the operator, which are necessary for the special class of a priori estimates. Sufficient conditions for such apriori estimates are found.

Keywords: noetherian operator, index of operator, apriori estimates, semi-elliptic operator.

ԱՊՐԻՈՐԻ ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆՆԵՐԻ ԵՎ ՆՅՈՏԵՐՅԱՆՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԱՆԻԶՈՏՐՈՊ ՍՈԲՈԼԵՎԻԱՆ ՏԱՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ

Ա.Ա. Դարբինյան, Ա.Գ. Թումանյան

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքում հետազոտվում են հատուկ տեսքի ապրիորիական գնահատականներ սոբոլևյան անիզոտրոպ տարածություններում գործող դիֆֆերենցիալ օպերատորների համար: Ստացված են ապրիորիական գնահատականների կատարման համար անհրաժեշտ պայմաններ օպերատորի սիմվոլի վրա: Աշխատանքում ստացված են բավարար պայմաններ հատուկ տեսքի ապրիորիական գնահատականների համար:

Հիմնաբառեր` նյոտերյան օպերատոր, օպերատորի ինդեքս, ապրիորիական գնահատական, կիսաէլիպտիկ օպերատոր:

ОБ ОДНОМ КЛАССЕ ПОЧТИ ГИПОЭЛЛИПТИЧЕСКИХ МНОГОЧЛЕНОВ*

В.Н. Маргарян, Г.Г. Казарян

Российско-Армянский университет

vachagan.margaryan@yahoo.com, haikghazaryan@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматривается следующий вопрос: для каких многогранников $\mathfrak{R} \subset \mathbb{R}_+^3$ можно построить почти гипозэллиптический многочлен $P(\xi)$ с вещественными коэффициентами и с характеристическим многогранником $\mathfrak{K}(P) = \mathfrak{R}$, для которого $P \notin I_3$.

Ключевые слова: почти гипозэллиптический многочлен, поведение многочлена на бесконечности, характеристический многогранник.

Пусть \mathbb{N} – множество натуральных чисел, $\mathbb{N}_0 = \mathbb{N} \cup \{0\}$, \mathbb{N}_0^n – множество n -мерных мультииндексов, т.е. точек $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$, $\alpha_j \in \mathbb{N}_0$, $j = 1, \dots, n$, \mathbb{R}^n – n -мерное вещественное эвклидово пространство точек $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_n)$, $\mathbb{R}_+^n := \{\xi = (\xi_1, \dots, \xi_n) \in \mathbb{R}^n, \xi_j \geq 0, j = 1, \dots, n\}$ и $\mathfrak{R}_0^n := \{\xi = (\xi_1, \dots, \xi_n) \in \mathbb{R}^n, \xi_1 \cdot \dots \cdot \xi_n \neq 0\}$. Для $\alpha \in \mathbb{N}_0^n$, $\xi \in \mathbb{R}^n$ и $\nu \in \mathbb{R}_+^n$ обозначим $|\alpha| = \alpha_1 + \dots + \alpha_n$, $\xi^\alpha = \xi_1^{\alpha_1} \dots \xi_n^{\alpha_n}$, $|\xi| = (\xi_1^2 + \dots + \xi_n^2)^{1/2}$, $(\alpha, \nu) = \alpha_1 \nu_1 + \dots + \alpha_n \nu_n$, $D^\alpha = D_1^{\alpha_1} \dots D_n^{\alpha_n}$, где $D_j = \frac{\partial}{\partial \xi_j}$, $j = 1, \dots, n$.

*Работа выполнена в рамках тематического финансирования РАУ из средств МОБНРФ.

Пусть $A \subset \mathbb{R}_+^n$ – конечный набор. Характеристическим многогранником набора A называется минимальный выпуклый многогранник $\mathfrak{R}(A) \subset \mathbb{R}_+^n$, содержащий множество $A \cup \{0\}$. Многогранник $\mathfrak{R} \subset \mathbb{R}_+^n$ называется «правильным», если 1) \mathfrak{R} имеет вершину в начале координат, 2) отличную от начала координат вершину на каждой оси ординат и 3) компоненты всех (внешних относительно \mathfrak{R}) нормалей $(n-1)$ -мерных некоординатных граней неотрицательны. Для правильного многогранника $\mathfrak{R} \subset \mathbb{R}_+^n$ через \mathfrak{R}^0 и $\Lambda(\mathfrak{R})$ обозначим:

\mathfrak{R}^0 – множество вершин \mathfrak{R} ,

$\Lambda(\mathfrak{R})$ – множество единичных $(n-1)$ -мерных некоординатных граней \mathfrak{R} .

Пусть $P(\xi) = \sum_{\alpha} \gamma_{\alpha} \xi^{\alpha}$ многочлен с вещественными коэффициентами, где сумма распространяется по конечному набору $(P) := \{\alpha \in \mathbb{N}_0^n, \gamma_{\alpha} \neq 0\}$. Характеристический многогранник набора (P) называется характеристическим многогранником многочлена $P(\xi)$.

Через I_n обозначим множество тех многочленов от n переменных с вещественными коэффициентами, для которых $P(\xi) \rightarrow \infty$ при $|\xi| \rightarrow \infty$.

Определение (см. [1]). Многочлен P называется почти гипозэллиптическим, если с некоторой постоянной $C > 0$

$$\sum_{\alpha \in \square_0^n} |P^{(\alpha)}(\xi)| := \sum_{\alpha \in \square_0^n} |D^{\alpha} P(\xi)| \leq C(1 + |P(\xi)|) \quad \forall \xi \in \mathbb{R}^n.$$

Известно (см. [2]), что характеристический многогранник почти гипозэллиптического многочлена правильный.

Легко заметить, что если для правильного многогранника $\mathfrak{R} \subset \mathbb{R}_+^n$ компоненты всех вершин четные, то многочлен

$$P(\xi) := \sum_{\alpha \in \mathfrak{R}^0} \xi^{\alpha}$$

почти гипозэллиптивен и $P \in I_n$.

Наша цель в настоящей заметке найти условия на многогранник $\mathfrak{R} \subset \mathbb{R}_+^n$, для которого можно построить почти гипозэллиптический многочлен $P \notin I_3$ с характеристическим многогранником $\mathfrak{R}(P) = \mathfrak{R}$.

Предложение 1. Для любого $P \in I_n$ компоненты вершин характеристического многогранника $\mathfrak{R}(P)$ четные.

Доказательство тривиально.

Лемма 1. Пусть $2 \leq k \leq n$, $\alpha = (\alpha', 0'') := (\alpha_1, \dots, \alpha_k, 0, \dots, 0)$, $\alpha' \in \mathbb{N}_0^k \cap \mathbb{R}_0^k$ вершина $\mathfrak{R}(P)$ почти гипозэллиптического многочлена P с вещественными коэффициентами. Тогда компоненты всех вершин многогранника $\mathfrak{R}(P)$, лежащие в гиперплоскости $\xi'' = 0$, чётные.

Доказательство. Обозначим $Q(\xi') := P(\xi', 0'')$. Известно (см. [3]), что многочлен $Q(\xi')$ почти гипозэллиптивен. Нетрудно проверить, что $\mathfrak{R}(Q) = \mathfrak{R}(P) \cap \{\xi'' = 0\}$. Так как $\alpha' \in \mathfrak{R}^0(Q) \cap \mathbb{R}_0^k$, $k \geq 2$ и Q почти гипозэллиптивен, то в силу работы [4] (см. лемму 1.1) $Q(\xi') \in I_k$. Тогда в силу Предложения 1 компоненты всех вершин многогранника $\mathfrak{R}(Q)$ и тем самым компоненты всех вершин $\mathfrak{R}(P)$, лежащих в гиперплоскости $\xi'' = 0$, – чётные.

Лемма 2. Пусть $\lambda \in \mathbb{R}_+^3 \cap \mathbb{R}_0^3$, $P(\xi)$, $\xi \in \mathbb{R}^3$ почти гипозэллиптический многочлен с вещественными коэффициентами, для которого

$$\mathfrak{R}^0(P) = \left\{ (0, 0, 0), \left(\frac{d(\lambda)}{\lambda_1}, 0, 0 \right), \left(0, \frac{d(\lambda)}{\lambda_2}, 0 \right), \left(0, 0, \frac{d(\lambda)}{\lambda_3} \right) \right\},$$

где $d(\lambda) = \max\{(\alpha, \lambda), \alpha \in (P)\}$. Если для некоторых i, j ($1 \leq i, j \leq 3$) $\lambda_i \neq \lambda_j$, то $\frac{d(\lambda)}{\lambda_k}$ ($k=1, 2, 3$) чётные.

Доказательство. Если при всех i, j ($1 \leq i, j \leq 3$) $\lambda_i \neq \lambda_j$, то $P \in I_3$ в силу леммы 1.2 работы [5]. Следовательно, в силу предложения 1, $\frac{d(\lambda)}{\lambda_k}$ ($k=1, 2, 3$) чётные. Пусть поэтому, ради определенности, $\lambda_1 = \lambda_2 \neq \lambda_3$. Обозначим $Q(\xi_1, \xi_3) := P(\xi_1, 0, \xi_3)$. Из условия леммы сле-

дует, что $\mathfrak{R}(Q) := \{(\nu_1, \nu_3) \in \mathbb{R}_+^2, \lambda_1 \nu_1 + \lambda_3 \nu_3 \leq d(\lambda)\}$. Так как $\lambda_1 \neq \lambda_3$ и Q почти гипоеллиптичен (см. [3]), то в силу работы [4] $Q \in I_2$.

Следовательно, в силу Предложения 1 $\frac{d(\lambda)}{\lambda_1}, \frac{d(\lambda)}{\lambda_3}$ четные. Так как

$\lambda_2 = \lambda_1$, то и $\frac{d(\lambda)}{\lambda_2}$ четно.

Лемма доказана.

Для правильного многогранника $\mathfrak{R} \subset \mathbb{R}_+^3$ с вершинами из \mathbb{N}_0^3 обозначим $B(\mathfrak{R}) := \{j \in \mathbb{N}_0, \exists \alpha_1, \alpha_2 \in \mathbb{N}_0, \alpha = (\alpha_1, \alpha_2, j) \in \mathfrak{R}^0\}$.

Тогда $\mathfrak{R}^0 = \bigcup_{j \in B(\mathfrak{R})} \mathfrak{R}_j^0$, где $\mathfrak{R}_j^0 = \{(\alpha_1, \alpha_2, j) \in \mathfrak{R}^0\}$, $j \in B(\mathfrak{R})$.

Лемма 3. Пусть $\mathfrak{R} \subset \mathbb{R}_+^3$ правильный многогранник с вершинами из \mathbb{N}_0^3 , для которого $\left(\frac{\sqrt{3}}{3}, \frac{\sqrt{3}}{3}, \frac{\sqrt{3}}{3}\right) \notin \Lambda(\mathfrak{R})$.

Если

- 1) $\mathfrak{R}^0 \cap R_0^3 = \emptyset$;
- 2) каждая одномерная грань \mathfrak{R} параллельна к некоторой координатной плоскости, при этом, если эта грань параллельна пусть к плоскости $\xi_3 = 0$, но не лежит в нем, то $\lambda_1 = \lambda_2$ при всех $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$, являющихся нормально этой грани;
- 3) быть может после перенумерации переменных $\lambda_1 = \lambda_2$ при всех $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \in \Lambda(\mathfrak{R})$;

то

a) $\text{card} \mathfrak{R}_j^0 = 2$ при

$$j \in B(\mathfrak{R}), j < k := \max\{\alpha_3, \alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) \in \mathfrak{R}^0\};$$

b) для любого $j \in B(\mathfrak{R})$ существует $l_j \in \mathbb{N}_0$ – такой, что

$$(l_j, 0, j), (0, l_j, j) \in \mathfrak{R}_j^0;$$

с) либо $\text{card}\mathfrak{R}_k^0 = 1$, либо $\text{card}\mathfrak{R}_k^0 = 3$, при этом в последнем случае существует $l_k \in \mathbb{N}_0$ такие, что $(l_k, 0, k), (0, l_k, k) \in \mathfrak{R}_k^0$.

Доказательство.

Пусть $\alpha^1 = (\alpha_1^1, 0, 0) \neq 0, \alpha^2 = (0, \alpha_2^2, 0), \alpha^3 = (0, 0, \alpha_3^3) := (0, 0, k)$ – вершины многогранника \mathfrak{R} , лежащих на координатных осях. Обозначим $\gamma\mathfrak{R}^0 = \mathfrak{R}^0 \setminus \{\alpha^1, \alpha^2, \alpha^3\}$. Нетрудно проверить, что при условиях леммы $\gamma\mathfrak{R}^0 \cap \{\xi_3 = 0\} = \emptyset$.

Если $\gamma\mathfrak{R}^0 = \emptyset$, то утверждение леммы тривиально, так как тогда $\mathfrak{R}_0^0 = \{\alpha^1, \alpha^2\}, \mathfrak{R}_k^0 = \{\alpha^3\}$ и $\mathfrak{R}_j^0 = \emptyset$ $1 < j < k$. Пусть $\gamma\mathfrak{R}^0 \neq \emptyset$ и Γ_1 – двумерная грань многогранника \mathfrak{R} , содержащая точку α^3 . Из условий 1)-2) леммы при $\gamma\mathfrak{R}^0 \neq \emptyset$ следует, что Γ_1 имеет 3 одномерные грани, одна из них лежит в плоскости $\xi_1 = 0$, другая – в плоскости $\xi_2 = 0$, а третья параллельна плоскости $\xi_3 = 0$, но не лежит в ней. Пусть $\beta^1 = (\beta_1^1, 0, \beta_3^1)$ и $\beta^2 = (0, \beta_2^2, \beta_3^2)$ вершины \mathfrak{R} , лежащие на последней одномерной грани. Так как эта грань параллельна плоскости $\xi_3 = 0$, то $\beta_3^1 = \beta_3^2 =: m$. С другой стороны, так как $\lambda_1 = \lambda_2$ для $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \in \Lambda(\mathfrak{R})$, являющаяся нормалью грани Γ_1 , то $\beta_1^1 = \beta_1^2 =: l$. Если $m = k$, то отсюда получаем, что $\text{card}\mathfrak{R}_k^0 = 3$ и $\mathfrak{R}_k^0 = \{\alpha^3, (l, 0, k), (0, l, k)\}$. Если же $m < k$, то $\mathfrak{R}_m^0 = \{(l, 0, m), (0, l, m)\}$. При этом $\mathfrak{R}_j^0 = \emptyset$, если $m < j < k$.

Если же $\gamma\mathfrak{R}^0 \setminus \{\beta^1, \beta^2\} = \emptyset$, то так как $\gamma\mathfrak{R}^0 \cap \{\xi_3 = 0\} = \emptyset$ из условия 3) леммы имеем, что $\alpha_1^1 = \alpha_2^2 =: l_0$ и поэтому $\mathfrak{R}^0 = \mathfrak{R}_k^0 \cup \mathfrak{R}_m^0 \cup \mathfrak{R}_0^0$, где $\mathfrak{R}_0^0 = \{(l_0, 0, 0), (0, l_0, 0)\}$.

Если же $\gamma\mathfrak{R}^0 \setminus \{\beta^1, \beta^2\} \neq \emptyset$, то, взяв двумерную грань $\Gamma_2 \neq \Gamma_1$, проходящую через вершины β^1, β^2 (отрезок, соединяющий точки β^1, β^2 , является одномерной гранью \mathfrak{R} (см. первую часть доказа-

тельства леммы)) и, проводя аналогичные рассуждения как выше, получим утверждение леммы.

Лемма доказана.

Следствие 1. Если при условиях леммы 3 компоненты вершин \mathfrak{K} четные, то \mathfrak{K}^0 представляется в виде $\bigcup_{2j \in B(\mathfrak{K})} \mathfrak{K}_{2j}^0$, где компоненты точек из \mathfrak{K}_{2j}^0 , $2j \in B(\mathfrak{K})$ также четные.

Доказательство непосредственно следует из леммы 3 в силу условия следствия.

Теорема 1. Пусть $\mathfrak{K} \subset \mathbb{R}_+^3$ – правильный многогранник с вершинами из \mathbb{N}_0^3 . Если $\lambda^0 = \left(\frac{\sqrt{3}}{3}, \frac{\sqrt{3}}{3}, \frac{\sqrt{3}}{3} \right) \notin \Lambda(\mathfrak{K})$, то для того, чтобы существовали почти гипоеллиптический многочлен $P \notin I_3$ с вещественными коэффициентами и с $\mathfrak{K}(P) = \mathfrak{K}$, необходимо и достаточно

- 1) $\mathfrak{K}^0 \cap R_0^3 = \emptyset$;
- 2) каждая одномерная грань \mathfrak{K} параллельна к некоторой координатной плоскости, при этом, если эта грань параллельна пусть к плоскости $\xi_3 = 0$, но не лежит в ней, то $\lambda_1 = \lambda_2$ при всех $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$, являющихся нормалью этой грани;
- 3) быть может после перенумерации переменных $\lambda_1 = \lambda_2$ при всех $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \in \Lambda(\mathfrak{K})$;
- 4) компоненты всех вершин многогранника \mathfrak{K} чётные.

Необходимость. Справедливость пунктов 1–3) доказана в работе [5]. Справедливость пункта 4) при $\text{card}\Lambda(\mathfrak{K}) = 1$ следует из леммы 2 и условия $\lambda^0 \notin \Lambda(\mathfrak{K})$, а при $\text{card}\Lambda(\mathfrak{K}) \geq 2$ из леммы 1 и леммы 3 в силу уже доказанных пунктов 1)–3).

Достаточность. В силу пункта 4) из следствия 1 имеем, что

$$\mathfrak{K}^0 = \bigcup_{2j \in B(\mathfrak{K})} \mathfrak{K}_{2j}^0,$$

где $\mathfrak{K}_{2j}^0 = \{(2l_j, 0, 2j), (0, 2l_j, 2j) \mid 0 \leq 2j \leq 2k =: \max\{2j \in B(\mathfrak{K})\}\}$.

Рассмотрим следующие возможные случаи (см. лемму 3) а) $\text{card}\mathfrak{R}_{2k}^0 = 1$, б) $\text{card}\mathfrak{R}_{2k}^0 = 3$. В случае а) многочлен

$$P(\xi) := \xi_3^{2k} + \sum_{\substack{2j \in B \\ j < k}} \xi_3^{2j} (\xi_1 - \xi_2)^{2l_j}$$

удовлетворяет требованиям теоремы и в случае б) многочлен

$$Q(\xi) := \xi_3^{2k} (1 + (\xi_1 - \xi_2)^{2l_k}) + \sum_{\substack{2j \in B \\ j < k}} \xi_3^{2j} (\xi_1 - \xi_2)^{2l_j}$$

удовлетворяет требованиям теоремы.

Теорема доказана.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kazaryan H.* On almost hypoelliptic polynomials, Dokl. Ross. Acad. Nauk 398, n. 6, 70703, 2004.
2. *Казарян Г. Г.* О почти гипозэллиптических многочленах, возрастающих на бесконечности, Изв. НАН Арм., т. 46, № 6, 11–30, 2011.
3. *Margaryan V., Kazaryan H.* On increase at infinity of the almost hypoelliptic polynomials, Evrasian Math. J. 4, n. 4, 30–42, 2013.
4. *Маргарян В.Н., Казарян Г.Г.* Об одном классе двумерных почти гипозэллиптических многочленов, Изв. НАН Арм. (в печати).
5. *Маргарян В. Н., Казарян Г. Г.* Поведение на бесконечности одного класса почти гипозэллиптических многочленов (готовится к печати).

ON A CLASS OF ALMOST HYPOELLIPTIC POLYNOMIALS

V. Margaryan, H. Kazaryan

Russian-Armenian University

vachagan.margaryan@yahoo.com, haikghazaryan@mail.ru

ABSTRACT

In this paper we consider the following question: for which polyhedron $\mathfrak{R} \subset \mathbb{R}_+^3$ we can build almost hypoelliptic polynomial $P(\xi)$

with real coefficients and with characteristic polyhedron $\mathfrak{X}(P) = \mathfrak{X}$ for which $P \notin I_3$.

Keywords: almost hypoelliptic polynomial, polynomial behavior at infinity, the characteristic polyhedron.

ՀԱՄԱՐՅԱ ՀԻՊՈԷԼԻՊՏԻԿ ԲԱԶՄԱՆԴԱՄՆԵՐԻ ՄԻ ԴԱՄԻ ՄԱՍԻՆ

Վ.Ն. Մարգարյան, Հ.Գ. Ղազարյան

Հայ-Ռուսական համալսարան

vachagan.margaryan@yahoo.com, haikghazaryan@mail.ru

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքում ուսումնասիրվում է հետևյալ խնդիրը: Ինչպիսի $\mathfrak{X} \subset \mathbb{R}_+^3$ բազմանիստերի համար կարելի է կառուցել իրական գործակիցներով համարյա հիպոէլիպտիկ բազմանդամ $P \notin I_3$, այնպես որ $\mathfrak{X}(P)$ համընկնի \mathfrak{X} -ի հետ:

Հիմնաբառեր` համարյա հիպոէլիպտիկ բազմանդամ, բազմանդամի վարքը անվերջությունում, բնութագրիչ բազմանիստ:

УСТОЙЧИВОСТЬ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНКИ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ ГАЗА*

М.А. Микилян, А. Аспатуриян, В.А. Петросян

Российско-Армянский университет

mikilyan@rau.am

armen.aspaturyan@picsart.com, vahagpetrosyan1@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В данной научной статье рассматривается устойчивость пластинки, находящейся в совместном воздействии сверхзвукового потока газа и температурного поля. Исследованы вопросы влияния температурного поля на значение критической скорости обтекающего потока, а также исследовано влияние уточнения решения на значение критической скорости.

Ключевые слова: пластинка, устойчивость, температурное поле, сверхзвуковой поток.

Основные уравнения. Рассмотрим тонкую изотропную прямоугольную пластинку постоянной толщины h , находящуюся в стационарном температурном поле T . Введем декартовую систему координат (x, y, z) так, чтобы срединная плоскость пластинки совпала с координатной плоскостью (x, y) . Пусть, пластинка обтекается с одной стороны сверхзвуковым потоком газа с невозмущенной скоростью U , направленной вдоль оси Ox . Исследуются вопросы устойчивости рассматриваемой аэротермоупругой системы. В ходе математического моделирования сформулированной задачи принимаются следующие известные предположения: а) «закон плоских сечений» при определении

* Работа выполнена на кафедре математики и математического моделирования РАУ, в рамках проекта, финансируемого министерством образования РФ.

аэродинамического давления; б) линейный закон изменения температурного поля по толщине пластинки: $T = T_0(x, y) + z\Theta(x, y)$.

На основе принятых предположений и теории термоупругости изотропного тела получается следующая нелинейная система дифференциальных уравнений движения пластинки:

$$D\Delta^2 w + \alpha(1 + \mu)D\Delta\Theta = q + T_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + T_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2T_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \quad (1)$$

$$\frac{1}{Eh} \left(\frac{\partial^2 T_{11}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_{22}}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 T_{12}}{\partial x \partial y} \right) + \alpha \Delta T_0 = 0.$$

Здесь $w(x, y, t)$ – прогиб пластинки, $D = Eh^3 / 12(1 - \mu^2)$, E – модуль упругости, μ – коэффициент Пуассона, α – коэффициент теплового расширения, T_{ij} – внутренние усилия, q – поперечная нагрузка

$$q = -\rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - \rho h \varepsilon \frac{\partial w}{\partial t} - \frac{\varkappa p_\infty}{a_\infty} \left(\frac{\partial w}{\partial t} + a_\infty M \frac{\partial w}{\partial x} \right), \quad (2)$$

где $M = Ua_\infty^{-1}$ – число Маха для невозмущенного потока, ρ – плотность материала пластинки, ε – коэффициент линейного затухания, $a_\infty = \sqrt{\varkappa p_\infty \rho_\infty^{-1}}$ – скорость звука для невозмущенного газа, p_∞ – давление газа в невозмущенном состоянии, \varkappa – показатель политропы.

Будем рассматривать два случая:

1. Пластинка в направлении перпендикулярном скорости обтекающего потока достаточно длинная и однородно закреплена по длинным сторонам. Поэтому, направляя ось Oy вдоль длинной стороны, считаем, что все величины не зависят от координаты y .
2. Температурное поле отсутствует, но входящие в уравнения (1) усилия T_{ij} выражаются через функцию напряжений $F = F(x, y, t)$. Определение самой функции напряжений является нелегкой задачей, которую решим по ходу изложения статьи.

Случай 1. Для простоты дальнейших вычислений предположим, что внутренние усилия, согласно закону Гука, связаны с компонентами деформаций ε_{ij} срединной плоскости пластинки формулами:

$$\begin{aligned} T_{11} &= \frac{Eh}{1-\mu^2} [\varepsilon_{11} + \mu\varepsilon_{22} - \alpha(1+\mu)T_0], T_{22} = \frac{Eh}{1-\mu^2} [\varepsilon_{22} + \mu\varepsilon_{11} - \alpha(1+\mu)T_0], \\ T_{12} &= \frac{Eh}{2(1+\mu)} \varepsilon_{12}, \varepsilon_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial x}, \varepsilon_{22} = \frac{\partial u_2}{\partial y}, \varepsilon_{12} = \frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{\partial u_2}{\partial x}; \end{aligned} \quad (3)$$

где $u_1(x, y, t)$ и $u_2(x, y, t)$ – тангенциальные перемещения точек срединной плоскости пластинки.

Под действием неоднородного по толщине стационарного температурного поля происходит выпучивание пластинки (с прогибом $w_T(x)$) и, вследствие этого, появляется аэроупругое давление, которое определяется формулой порщневой теории. На основе соответствующих уравнений и граничных условий, которые приводятся в ходе изложения, исследуется устойчивость указанного выпучиванного состояния, под действием температурного поля и давления обтекающего сверхзвукового потока газа.

По ходу математического моделирования для вычисления указанного прогиба получается следующая задача:

$$\begin{aligned} D \frac{d^4 w_T}{dx^4} + \alpha p_\infty M \frac{dw_T}{dx} &= 0 \\ w_T = 0, \quad \frac{d^2 w_T}{dx^2} + \alpha(1+\mu)\Theta &= 0, \quad \text{при } x = 0, x = a \end{aligned} \quad (4)$$

Указанная задача имеет следующее решение:

$$\begin{aligned} w_T(x) = -\frac{R\Theta}{\Delta} \{ &e^{2\varphi(a-x)} (1 + e^{2\varphi a}) - (1 + e^{4\varphi a}) + e^{\varphi a} [(1 + e^{2\varphi a} - 2e^{2\varphi(a-x)}) \cos \sqrt{3}\varphi a - \\ &-\sqrt{3}(1 - e^{2\varphi a}) \sin \sqrt{3}\varphi a] + e^{\varphi x} (1 - e^{2\varphi a}) [\cos \sqrt{3}\varphi x + \sqrt{3} \sin \sqrt{3}\varphi x] + \\ &+ e^{\varphi(a+x)} (1 - e^{2\varphi a}) [\cos \sqrt{3}\varphi(a-x) + \sqrt{3} \sin \sqrt{3}\varphi(a-x)] \} \end{aligned} \quad (5),$$

где

$$\Delta = 4\varphi^2 \left\{ 1 + e^{4\varphi a} - e^{\varphi a} \left[(1 + e^{2\varphi a}) \cos \sqrt{3}\varphi a + \sqrt{3} (1 - e^{2\varphi a}) \sin \sqrt{3}\varphi a \right] \right\},$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{\pi^4}{4a^3} K v}, \quad R = \alpha(1+\mu), \quad K = \frac{4\alpha p_\infty}{Dh} \left(\frac{a}{\pi} \right)^4, \quad v = M \frac{h}{a}.$$

С точки зрения дальнейшего применения выражения (5), задача (4) решена также приближенно, методом Бубнова-Галеркина, и получена следующая формула:

$$w_T(x) = -R\Theta \left\{ \frac{1}{2}x(x-a) + \frac{a^2 K\nu}{36 + K^2\nu^2} \left[\frac{3}{8\pi} K\nu \sin \frac{\pi x}{a} + \frac{9}{16\pi} \sin \frac{2\pi x}{a} \right] \right\}. \quad (6)$$

Численное исследование функций (5) и (6), проведенное при $\alpha = 23.8 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$; $k = 1200$ Вт/(м 2 град); $\lambda = 210$ Вт/(м град); $\mu = 0.34$; $a = 1$ м; $h/a = 1/100$ показывает, что значения, определяемые формулами (5) и (6), практически совпадают. Поэтому в дальнейшем для простоты применений и вычислений используется формула (6).

Наконец из первого уравнения системы (1) с учетом (6) получается следующее основное дифференциальное уравнение относительно возмущения $w(x_1, t)$ поперечного перемещения пластинки:

$$D \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \frac{Eh}{1-\mu} \alpha T_0 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \left(\rho h \varepsilon + \frac{\varkappa p_\infty}{a_\infty} \right) \frac{\partial w}{\partial t} + \varkappa p_\infty M \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\varkappa(\varkappa+1)}{2} p_\infty M^2 \frac{dw_T}{dx} \frac{\partial w}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

Решения уравнения (7) должны удовлетворять следующим условиям шарнирного опирания краев пластинки:

$$w = 0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad \text{при} \quad x = 0, \quad x = a. \quad (8)$$

Таким образом, исследование устойчивости пластинки, находящейся под действием неоднородного температурного поля и сверхзвукового потока газа, сведена к решению нелинейной однородной краевой задачи (7)–(8).

Решение уравнения (7), удовлетворяющее условиям (8), представим в виде:

$$w = f_1(t) \sin \lambda_1 x + f_2(t) \sin \lambda_2 x, \quad (9)$$

где $f_m(t)$ – подлежащие определению функции времени t .

Подставляя (9) в уравнение (7) и используя процесс ортогонализации, после некоторых преобразований получаем системы обыкновенных дифференциальных нелинейных уравнений. В настоящей работе будем исследовать лишь линейную часть этого уравнения, полученное относительно безразмерных функций $x_m = f_m / h$:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x_1}{d\tau^2} + \chi \frac{dx_1}{d\tau} + (1 - \bar{T})x_1 - \frac{2}{3}Kv x_2 + \bar{\Theta}[\delta_{11}^{\ominus}x_1 + \delta_{12}^{\ominus}x_2] &= 0, \\ \frac{d^2 x_2}{d\tau^2} + \chi \frac{dx_2}{d\tau} + (\gamma^2 - 4\bar{T})x_2 + \frac{2}{3}Kv x_1 + \bar{\Theta}[\delta_{21}^{\ominus}x_1 + \delta_{22}^{\ominus}x_2] &= 0, \end{aligned} \quad (10)$$

В (10) ω_i – частоты собственных колебаний, χ , v , \bar{T} , $\bar{\Theta}$ – параметры, характеризующие, соответственно, процесс затухания, скорость обтекающего потока и температурного поля,

$$\bar{\Theta} = R\Theta h \left(\frac{a}{h}\right)^2 \frac{1}{36 + K^2 v^2}, \quad \gamma = \frac{\omega_2}{\omega_1}, \quad (11)$$

$$\omega_1 t = \tau, \quad \bar{T} = \frac{12}{\pi^2} \left(\frac{a}{h}\right)^2 R T_0, \quad \chi = \frac{1}{\omega_1} \left(\varepsilon + \frac{a_{\infty} \rho_{\infty}}{\rho h} \right), \quad \omega_k^2 = \frac{D}{\rho h} \lambda_k^4.$$

$$\delta_{11}^{\ominus} = \frac{9}{4}(\varepsilon + 1)Kv^2, \quad \delta_{12}^{\ominus} = -\frac{21}{40}(\varepsilon + 1)K^2 v^3, \quad (12)$$

$$\delta_{21}^{\ominus} = -\frac{3}{40}(\varepsilon + 1)K^2 v^3, \quad \delta_{22}^{\ominus} = \frac{1}{80}(\varepsilon + 1)Kv^2(180 + K^2 v^2),$$

Таким образом, задача устойчивости рассматриваемой гидроупругой системы сведена к исследованию поведения решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений (10) в зависимости от величины скорости обтекающего потока газа (от величины параметра v) и температуры (от величин \bar{T} , $\bar{\Theta}$). Решение системы (10) определяется из следующего характеристического уравнения:

$$a_0 \lambda^4 + a_1 \lambda^3 + a_2 \lambda^2 + a_3 \lambda + a_4 = 0, \quad (13)$$

где

$$a_0 = 1, \quad a_1 = 2\chi$$

$$a_2 = 1 + \gamma^2 - 5\bar{T}\delta + \bar{\Theta}(\delta_{11}^{\ominus} + \delta_{22}^{\ominus}) + \chi^2, \quad a_3 = \left[1 + \gamma^2 - 5\bar{T}\delta + \bar{\Theta}(\delta_{11}^{\ominus} + \delta_{22}^{\ominus}) \right] \chi$$

$$\begin{aligned} a_4 = & (1 - \bar{T}\delta)(\gamma^2 - 4\bar{T}\delta) + \frac{4}{9}K^2 v^2 + (\delta_{11}^{\ominus} \delta_{22}^{\ominus} - \delta_{12}^{\ominus} \delta_{21}^{\ominus}) \bar{\Theta}^2 + \\ & + \left(\gamma^2 (\delta_{11}^{\ominus} + \delta_{22}^{\ominus}) - \frac{2}{3}Kv(\delta_{12}^{\ominus} - \delta_{21}^{\ominus}) - (4\delta_{11}^{\ominus} + \delta_{22}^{\ominus})\bar{T}\delta \right) \bar{\Theta}. \end{aligned}$$

Невозмущенная форма пластинки будет устойчива, если действительные части корней характеристического уравнения будут отрицательными. Следовательно, условия устойчивости, согласно теореме Гурвица, записываются в виде:

$$a_i > 0 \quad (i = 0, 1, \dots, 4), \quad \Delta_3 = a_1 a_2 a_3 - a_1^2 a_4 - a_3^2 a_0 > 0 \quad (14)$$

Подставляя соответствующие выражения в (14), получим следующие неравенства, определяющие область устойчивости рассматриваемой термоупругой системы в пространстве параметров ν , \bar{T} , $\bar{\Theta}$:

$$\begin{aligned}
 & 1 + \gamma^2 - 5\bar{T}\delta + \bar{\Theta}(\delta_{11}^{\ominus} + \delta_{22}^{\ominus}) > 0 \\
 & (1 - \bar{T}\delta)(\gamma^2 - 4\bar{T}\delta) + \frac{4}{9}K^2\nu^2 + (\delta_{11}^{\ominus}\delta_{22}^{\ominus} - \delta_{12}^{\ominus}\delta_{21}^{\ominus})\bar{\Theta}^2 + \\
 & \quad + \left(\gamma^2(\delta_{11}^{\ominus} + \delta_{22}^{\ominus}) - \frac{2}{3}K\nu(\delta_{12}^{\ominus} - \delta_{21}^{\ominus}) - (4\delta_{11}^{\ominus} + \delta_{22}^{\ominus})\bar{T}\delta \right) \bar{\Theta} > 0 \\
 & (\gamma^2 - 1 - 3\bar{T}\delta)^2 - \frac{16}{9}K^2\nu^2 + 2\chi^2(\gamma^2 + 1) - (6(\delta_{22}^{\ominus} - \delta_{11}^{\ominus})\bar{\Theta} + 10\chi^2)\bar{T}\delta + \\
 & \quad + 2\left((\gamma^2 - 1)(\delta_{22}^{\ominus} - \delta_{11}^{\ominus}) + \frac{4}{3}K\nu(\delta_{12}^{\ominus} - \delta_{21}^{\ominus}) + (\delta_{11}^{\ominus} + \delta_{22}^{\ominus})^2\chi^2 \right) \bar{\Theta} + \\
 & \quad + \left(4\delta_{12}^{\ominus}\delta_{21}^{\ominus} + (\delta_{22}^{\ominus} - \delta_{11}^{\ominus})^2 \right) \bar{\Theta}^2 > 0.
 \end{aligned} \tag{15}$$

Если влиянием затухания можно пренебречь (формально $\chi = 0$), то вместо (13) получается биквадратное уравнение, и поэтому условиями устойчивости будут:

$$a_2 > 0, \quad a_4 > 0, \quad a_2^2 - 4a_4 > 0. \tag{16}$$

Из системы (16) будем исследовать критическое значение параметра ν в зависимости от температурного поля.

1) *Случай постоянного температурного поля* ($\bar{T} \neq 0, \Theta = 0$). В этом случае условия (15) существенно упрощаются и принимают вид:

$$\begin{aligned}
 & 1 - \gamma^2 - 5\bar{T} > 0, \quad (1 - \bar{T})(\gamma^2 - 4\bar{T}) + \frac{4}{9}K^2\nu^2 > 0, \\
 & (\gamma^2 - 1 - 3\bar{T}\delta)^2 - \frac{16}{9}K^2\nu^2 > 0.
 \end{aligned} \tag{17}$$

Система (17) исследована при приведенных выше данных, и в таблице 1 приведены значения критической скорости в зависимости от температуры при различных h/a .

Таблица 1. Влияние постоянного температурного поля на критическую скорость.

$^{\circ}c, T_0$ h/a	-100	-50	0	5	50
1/50	5.4622	3.6604	1.8586	1.6785	0.05687
1/80	1.6912	0.9874	0.2836	0.06165	Неуст.

1/100	1.01705	0.5667	0.1162	0.0711	Неуст.
1/300	0.1015	0.05148	0.001434	Неуст.	Неуст.

2) Влияние градиента температуры ($\bar{T} = 0, \bar{\Theta} \neq 0$). В таблице 2 приведены значения v_* .

Таблица 2. Влияние градиента температуры на критическую скорость.

Θ_c^0 / m h/a	-5000	-2500	0	2500	5000
1/50	2.5164	2.1183	1.8586	1.5702	1.4895
1/80	0.3509	0.3084	0.2836	0.2671	0.2554
1/100	0.1266	0.1208	0.1162	0.1124	0.1093
1/300	0.001437	0.001436	0.001434	0.001432	0.00143

Таблица 2 показывает, что влияние градиента температуры на критическую скорость является существенным в случае сравнительно толстых пластин.

3) **Общий случай** ($\bar{T} \neq 0, \bar{\Theta} \neq 0$). В этом случае результаты вычислений приведены в таблице 3.

Таблица 3. Общий случай при h/a=1/100.

Θ_c^0, T_0 $^{\circ}C / m$	-5000	-2500	0	2500	5000
-200	1.4152	1.5818	1.9179	Уст.	Уст.
-100	0.8755	0.9286	1.01705	1.1989	Уст.
-50	0.5433	0.5513	0.5667	0.5918	0.6347
0	0.1266	0.1208	0.1162	0.1124	0.1093
5	0.0765	0.0735	0.0711	0.0396	0.0367
7	0.05515	0.05363	0.0531	0.0437	0.04166

Таблица 3 показывает, что если обе составляющие температурного поля отличны от нуля, то влияние температурного поля может оказаться более существенным.

Случай 2. Приближенное решение уравнения (1), удовлетворяющее условиям шарнирного опирания по всему контуру пластинки, будем искать в виде:

$$w(x, y, t) = (f_1(t) \sin \lambda_1 x + f_2(t) \sin \lambda_2 x) \cdot \sin \mu_1 y, \quad \left(\lambda_i = \frac{i\pi}{a}, \mu_k = \frac{k\pi}{b} \right). \quad (18)$$

где $f_i(t)$ – подлежащие определению функции времени t .

Подставив (18) в (1) получим линейное дифференциальное уравнение относительно функции F . Решение указанного уравнения, удовлетворяющего граничным условиям, получаем в виде:

$$F(x, y, t) = \frac{Eh}{4} \left[-\frac{\mu_1^2}{\lambda_1^2} f_1 f_2 \cos(\lambda_1 x) + \frac{\mu_1^2}{8\lambda_1^2} f_1^2 \cos(\lambda_2 x) + \frac{\mu_1^2}{9\lambda_1^2} f_1 f_2 \cos(\lambda_3 x) + \right. \\ \left. + \frac{\mu_1^2}{32\lambda_1^2} f_2^2 \cos(\lambda_4 x) + \frac{9\lambda_1^2 \mu_1^2}{\Delta_{\lambda_1 \mu_2}} f_1 f_2 \cos(\lambda_1 x) \cos(\mu_2 y) - \right. \\ \left. - \frac{\lambda_1^2 \mu_1^2}{\Delta_{\lambda_3 \mu_2}} f_1 f_2 \cos(\lambda_3 x) \cos(\mu_2 y) + \left(\frac{\lambda_1^2}{2\mu_1^2} f_2^2 + \frac{\lambda_1^2}{8\mu_1^2} f_1^2 \right) \cos(\mu_2 y) \right], \quad \Delta_{\lambda_i \mu_k} = (\lambda_i^2 + \mu_k^2)^2$$

Подставляя (18) и найденное выражение для F в (1) и применяя метод Бубнова-Галеркина для определения безразмерных неизвестных функций $x_1 = f_{11}(t)/h$, $x_2 = f_{21}(t)/h$, получим нелинейную систему обыкновенных дифференциальных уравнений, соответствующей линейной системой является:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x_1}{d\tau^2} + \chi \frac{dx_1}{d\tau} + x_1 - \frac{2}{3} k v x_2 &= 0, \\ \frac{d^2 x_2}{d\tau^2} + \chi \frac{dx_2}{d\tau} + \gamma^2 x_2 + \frac{2}{3} k v x_1 &= 0. \end{aligned} \quad (19)$$

Для решения системы (11) получим следующее характеристическое уравнение:

$$\lambda^4 + 2\chi\lambda^3 + (\gamma^2 + 1 + \chi^2)\lambda^2 + \chi(\gamma^2 + 1)\lambda + \gamma^2 + \frac{4}{9}k^2v^2 = 0.$$

Невозмущенная форма пластинки будет устойчива, если действительные части корней характеристического уравнения будут отрицательными. Следовательно, условия устойчивости, согласно теореме Гурвица, записываются в виде:

$$\chi > 0, \quad \chi(1+\gamma^2) > 0, \quad (\gamma^2 - 1)^2 + 2\chi^2(1+\gamma^2) - \frac{16}{9}k^2v^2 > 0.$$

Первые два неравенства выполняются во всех случаях. Из третьего неравенства получается следующая формула определения критической скорости флаттера:

$$v_{cr} = \frac{3}{4} \frac{\gamma^2 - 1}{k} \sqrt{1 + \frac{2\chi^2(\gamma^2 + 1)}{(\gamma^2 - 1)^2}}. \quad (20)$$

Получена также уточненная формула определения функции напряжения в случае, когда при решении системы (1) в представлении (18) сохранены первые четыре члена. Получена соответствующая линейная система обыкновенных дифференциальных уравнений, исследовано влияние такого представления на значение критической скорости, которое здесь не приводится в связи с громоздкостью полученных формул.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Болотин В.В.* Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. М.: Физматгиз, 1961. 339 с.
2. *Илюшин А.А.* Закон плоских сечений при больших сверхзвуковых скоростях. ПММ, 1956, т. XX, вып.6.
3. *Ashley H., Zartarian C.* Piston theory – a new aerodynamic tool for the aeroelastician. Journ. Aeronaut. Sci. 23, № 6, 1956.

STABILITY OF RECTANGULAR PLATE IN SUPERSONIC GAS FLOW

M. Mikilyan, A. Aspaturyan, V. Petrosyan

Russian-Armenian University

mikilyan@rau.am

armen.aspaturyan@picsart.com, vahagpetrosyan1@gmail.com

ABSTRACT

Stability of isotropic plate, placed in the joint impact of supersonic gas flow and thermal field is considered. The issues of as influence of thermal field on the

value of critical speed of flowing stream is investigated, as well as the effect of solution enhancement on the value of the critical speed is examined.

Keywords: plate, stability, thermal field, supersonic flow.

**ԳԱԶԻ ԳԵՐՉԱՅՆԱՅԻՆ ՀՈՍԱՆՔՈՎ ՇՐՋՀՈՍՎՈՂ
ՈՒՂՂԱՆՅՈՒՆ ՄԱԼԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Մ.Ա.Միկիլյան, Ա.Ա.Ասպատուրյան, Վ.Ա.Պետրոսյան

Հայ-Ռուսական համալսարան

mikilyan@rau.am

armen.aspaturyan@picsart.com, vahagpetrosyan1@gmail.com

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Դիտարկվում է ջերմային դաշտում գտնվող և գազի գերձայնային հոսանքով շրջհոսվող սալի կայունության խնդիրը: Ուսումնասիրվում են շրջհոսող հոսանքի կրիտիկական արագության վրա ջերմային դաշտի ազդեցության հարցերը: Քննարկված են նաև կրիտիկական արագության վրա լուծման ճշգրտման ազդեցության հարցերը:

Հիմնաբառեր՝ սալ, կայունություն, ջերմային դաշտ, գերձայնային հոսանք:

ЧИСЛО ЗАЙДЕНБЕРГА-ТАРСКОГО ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА МНОГОЧЛЕНОВ*

Г.Г. Тоноян

Российско-Армянский университет

jolisourire@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Найдено число Зайденберга-Тарского для многочленов двух переменных с вещественными постоянными коэффициентами следующего вида:

$$P(\xi) = P(\xi_1, \xi_2) = P_0(\xi) + P_1(\xi) + P_2(\xi),$$

где $P_i - \mu$ – однородный многочлен порядка $m_i = m_i(\mu)$ ($i = 0, 1, 2$), $m_0 > m_1 > m_2 \geq 0$.

Ключевые слова: число Зайденберга-Тарского, μ -однородный многочлен.

Пусть R^2 – двумерное евклидово пространство точек (векторов) $\xi = (\xi_1, \xi_2)$, $R_0^2 = \{\xi; \xi \in R^2, \xi_1 \cdot \xi_2 \neq 0\}$, $R_+^2 = \{\xi; \xi \in R^2, \xi_j \geq 0, j = 1, 2\}$, N – множество натуральных чисел, $N_0 = N \cup \{0\}$, $N_0^2 = N_0 \times N_0$. Для $\xi \in R^2$, $\alpha \in N_0^2$, $\mu \in R_+^2 \cap R_0^2$ и $t > 0$ обозначим $\xi^\alpha = \xi_1^{\alpha_1} \xi_2^{\alpha_2}$, $|\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2$, $t^\mu = (t^{\mu_1}, t^{\mu_2})$, $\|\xi, \mu\| = \sqrt{|\xi_1|^{\frac{2}{\mu_1}} + |\xi_2|^{\frac{2}{\mu_2}}}$.

* Работа выполнена в рамках тематического финансирования РАУ из средств МОБНРФ.

Пусть $P(\xi) = P(\xi_1, \xi_2) = \sum_{\alpha} \gamma_{\alpha} \xi^{\alpha}$ – многочлен двух переменных ξ_1, ξ_2 с вещественными постоянными коэффициентами, где сумма распространяется по конечному набору мультииндексов

$$(P) = \{\alpha; \alpha \in N_0^2, \gamma_{\alpha} \neq 0\}.$$

Известно (см. [1]–[3]), что для многочлена $P(\xi) > 0$ $\xi \in R^2$ и $\mu \in R_+^2 \cap R_0^2$ существуют вещественные постоянные $C > 0$ и A – такие, что

$$P(\xi) \geq C(1 + \|\xi, \mu\|)^A, \quad \xi \in R^2. \quad (1)$$

Определение 1. Наибольшее из чисел A , удовлетворяющих соотношению (1), называется «числом Зайденберга-Тарского» многочлена P и обозначается $ST(P, \mu)$.

Г.Г. Казаряном и В.Н. Маргаряном в работе [6] приведен алгоритм вычисления положительного числа Зайденберга-Тарского для двумерных многочленов, бесконечно растущих на бесконечности и представленных в виде суммы однородных многочленов.

Определение 2. Многочлен P называется $\mu = (\mu_1, \mu_2) \in R_+^2$ однородным, если существует число $m = m(\mu) \geq 0$ – такое, что при всех $t > 0$ и $\xi \in R^2$

$$P(t^{\mu_1} \xi_1, t^{\mu_2} \xi_2) = t^m P(\xi).$$

Число $m = m(\mu)$ называется μ -порядком μ -однородного многочлена P .

В случае $\mu_1 = \mu_2 = 1$ многочлен P называется однородным порядка m .

Очевидно, что μ -однородные многочлены порядка $m = m(\mu)$ представляются в виде $P(\xi_1, \xi_2) = \sum_{(\alpha, \mu) = m} \gamma_{\alpha} \xi^{\alpha}$.

Так как для любого числа $a > 0$ μ -однородный многочлен $P(\xi)$ порядка m является также $a \cdot \mu$ -однородным порядка am , то, не умаляя общности, будем считать, что μ – вектор с рациональными компо-

нентами и $\mu = (\mu_1, \mu_2) = \left(1, \frac{k}{n}\right)$, где $k, n \in N$, k – нечетное число и $\frac{k}{n}$ – несократимая дробь.

Для μ -однородного многочлена P обозначим через

$$\Sigma(P) = \left\{ \eta; \eta \in R^2; \|\eta, \mu\| \equiv \sqrt{|\eta_1|^2 + |\eta_2|^{\frac{2}{\mu_2}}} = 1, P(\eta) = 0 \right\}.$$

Определение 3. μ -кратностью корня $\eta \in \Sigma(P)$ μ -однородного многочлена $P(\xi)$ называется число $\Delta = \Delta(\eta, \mu)$, для которого $D^\alpha P(\eta) = 0$ при всех $\alpha \in N_0^2$ таких, что $(\alpha, \mu) < \Delta$ и существует $\beta \in N_0^2$ такое, что $(\beta, \mu) = \Delta$ и $D^\beta P(\eta) \neq 0$.

Рассмотрим многочлены двух переменных с вещественными постоянными коэффициентами следующего вида:

$$P(\xi) = P(\xi_1, \xi_2) = P_0(\xi) + P_1(\xi) + P_2(\xi), \quad (2)$$

где $P_i - \mu$ – однородный многочлен порядка $m_i = m_i(\mu)$ ($i = 0, 1, 2$), $m_0 > m_1 > m_2 \geq 0$.

Для многочленов с вещественными коэффициентами $|P(\xi)| \rightarrow \infty$ при $\|\xi, \mu\| \rightarrow \infty$ равносильно утверждению, что либо $P(\xi) \rightarrow +\infty$, либо $P(\xi) \rightarrow -\infty$ для всех последовательностей $\{\xi\}$ таких, что $\|\xi, \mu\| \rightarrow \infty$.

Обозначим через $I_2(\mu)$ множество многочленов вида (2) таких, что $P(\xi) > 0$ для всех $\xi \in R^2$ и $P(\xi) \rightarrow +\infty$ при $\|\xi, \mu\| \rightarrow \infty$. Обозначим через $\ell_j(\eta)$, $j = 0, 1, 2$, μ -кратность корня $\eta \in \Sigma(P_j)$. Будем считать, что если $\eta \notin \Sigma(P_j)$, $j = 0, 1, 2$, то $\ell_j(\eta) = 0$. Если $P_2(\eta) = 0$ для $\eta \in \Sigma(P_0) \cap \Sigma(P_1)$ или $\Sigma^0 = \Sigma(P_0) \cap \Sigma(P_1) \neq \emptyset$ и $m_2 = 0$, то есть $P_2(\xi) = const$, то, очевидно, $P \notin I_2(\mu)$. Поэтому далее будем считать, что $m_2 > 0$ и $P_2(\eta) \neq 0$ для всех $\eta \in \Sigma(P_0) \cap \Sigma(P_1)$.

Для точки $\eta \in \Sigma(P_0) \cap \Sigma(P_1)$ положим

$$\delta_{0,1}(\eta) = \frac{m_0 - m_1}{\ell_0(\eta) - \ell_1(\eta)}, \quad \delta_{1,2}(\eta) = \frac{m_1 - m_2}{\ell_1(\eta) - \ell_2(\eta)} = \frac{m_1 - m_2}{\ell_1(\eta)},$$

$\delta_{1,2}(\eta) > 0 \quad \forall \eta \in \Sigma(P_0) \cap \Sigma(P_1)$ и $\delta_{0,1}(\eta) > 0$, если $\ell_0(\eta) > \ell_1(\eta)$.

Обозначим через $\Sigma_0 = \Sigma(P_0) \setminus \Sigma(P_1)$ и разобьем множество $\Sigma(P_0) \cap \Sigma(P_1)$ на следующие подмножества:

$$\Sigma_1 = \{\eta \in \Sigma(P_0) \cap \Sigma(P_1), \ell_0(\eta) \leq \ell_1(\eta)\},$$

$$\Sigma_2 = \{\eta \in \Sigma(P_0) \cap \Sigma(P_1), \ell_0(\eta) > \ell_1(\eta), \delta_{0,1}(\eta) > \delta_{1,2}(\eta)\},$$

$$\Sigma_3 = \{\eta \in \Sigma(P_0) \cap \Sigma(P_1), \ell_0(\eta) > \ell_1(\eta), \delta_{0,1}(\eta) < \delta_{1,2}(\eta)\},$$

$$\Sigma_4 = \{\eta \in \Sigma(P_0) \cap \Sigma(P_1), \ell_0(\eta) > \ell_1(\eta), \delta_{0,1}(\eta) = \delta_{1,2}(\eta)\}.$$

$$\text{Тогда } \Sigma(P_0) = \bigcup_{j=0}^4 \Sigma_j.$$

Для случая $\Sigma_4 = \emptyset$ в работе [7] доказана следующая теорема.

Теорема 1. Пусть $\Sigma_4 = \emptyset$. Тогда каждое из следующих условий необходимо и их одновременное выполнение достаточно, чтобы $P \in I_2(\mu)$:

1) $P_0(\xi) \geq 0$ для всех $\xi \in R^2$,

2) $P_1(\eta) > 0$ для всех $\eta \in \Sigma_0$,

3) $P_2(\eta) > 0$ для всех $\eta \in \Sigma(P_0) \cap \Sigma(P_1)$,

4) если $\eta \in \Sigma_3$ и μ -однородный многочлен P_1 представлен в виде

$$P_1(\xi) = \left(\eta_2^{\frac{1}{\mu_2}} \xi_1 - \eta_1 \xi_2^{\frac{1}{\mu_2}} \right)^{\ell_1} \cdot r_1(\xi), \text{ где } r_1(\xi) - \text{аналитическая функция}$$

переменных $(\xi_1, \xi_2) \in R_0^2$ и $r_1(\eta) \neq 0$, то ℓ_1 – чётное число и $r_1(\eta) > 0$.

Теорема 2. Пусть $P \in I_2(\mu)$, при этом $\Sigma_4 = \emptyset$. Тогда

1) $ST(P, \mu) = m_0$ при $\Sigma(P_0) = \emptyset$,

2) $ST(P, \mu) = m_1$ при $\Sigma_0 = \Sigma(P_0) \neq \emptyset$,

3) $ST(P, \mu) = m_2$ при $\Sigma(P_0) \cap \Sigma(P_1) \neq \emptyset$.

Пример. Пусть

$$P(\xi_1, \xi_2) = (\xi_1^2 - \xi_2)^2 (\xi_1^4 + \xi_2^2)^2 + (\xi_1^2 - \xi_2)(\xi_1^4 + \xi_2^2) + (\xi_1^4 + \xi_2^2),$$

$$P \in I_2(\mu), \quad \mu = (1; 2), \quad m_0 = 12, \quad m_1 = 6, \quad m_2 = 4, \quad \ell_0 = 2, \quad \ell_1 = 1,$$

$$\delta_{0,1}(\eta) = \frac{m_0 - m_1}{\ell_0(\eta) - \ell_1(\eta)} = 6, \quad \delta_{1,2}(\eta) = \frac{m_1 - m_2}{\ell_1(\eta)} = 2, \quad \text{следовательно, } \Sigma_4 = \emptyset.$$

$\eta \in \Sigma_2, \quad \eta = \left(\pm \frac{1}{\sqrt{2}}; \frac{1}{2} \right) \in \Sigma(P_0) \cap \Sigma(P_1)$. По теореме 2 $A = 4$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Seidenberg A.* New Decision Method for Elementary Algebra, Ann. Math., vol.60. PP. 365–374, 1954.
2. *Tarski A.* Decision Method for Elementary Algebra and Geometry, Manuscript, Berkley, 1951.
3. *Хермандер Л.* Анализ линейных дифференциальных операторов с частными производными, М. «Мир», 1986.
4. *Казарян Г. Г.*, Об одном свойстве гипозэллиптических полиномов, Изв. АН Арм. ССР, серия: Математика, Т. 9, № 3. СС. 189–211, 1974.
5. *Казарян Г. Г., Маргарян В. Н.* Поведение на бесконечности неэллиптических многочленов, Изв. НАН Арм., Математика, 39, № 3. СС. 21–38, 2004.
6. *Казарян Г.Г., Маргарян В.Н.* Число Зайденберга-Тарского для двумерных вырождающихся многочленов, Изв. НАН Арм., Математика, 39, № 6. СС. 3–16, 2004.
7. *Тоноян Г. Г.* Поведение на бесконечности одного класса многочленов, Математика в высшей школе, том 5, № 2. СС. 25–36, 2009.

ON THE NUMBER OF SEIDENBERG-TARSKI FOR A CLASS OF POLYNOMIALS

G. Tonoyan

Russian-Armenian University

ABSTRACT

Let $P(\xi)$ be the polynomial with real coefficients represented in the form

$$P(\xi) = P(\xi_1, \xi_2) = P_0(\xi) + P_1(\xi) + P_2(\xi),$$

where P_i – is the μ -homogenous polynomial of degree $m_i = m_i(\mu)$ ($i = 0, 1, 2$), $m_0 > m_1 > m_2 \geq 0$. The number of Seidenberg-Tarski is founded.

Keywords: number of Seidenberg-Tarski, μ -homogenous polynomial.

ԶԱՅԴԵՆԲԵՐԳ-ՏԱՐՍԿՈՒ ԹԻՎԸ ՄԵՎ ԴԱՄԻ
ԲԱԶՄԱՆԴԱՄՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Գ. Գ. Տոնոյան

Հայ-Ռուսական համալսարան

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքում գտել ենք Զայդենբերգ-Տարսկու թիվը երկու փոփոխականի իրական հաստատուն գործակիցներով բազմանդամների համար, որոնք ունեն հետևյալ տեսքը՝

$$P(\xi) = P(\xi_1, \xi_2) = P_0(\xi) + P_1(\xi) + P_2(\xi),$$

որտեղ P_i -ն $m_i = m_i(\mu)$ ($i = 0, 1, 2, m_0 > m_1 > m_2 \geq 0$) աստիճանի μ -համասեռ բազմանդամ է:

Հիմնաբառեր՝ Զայդենբերգ-Տարսկու թիվ, μ -համասեռ բազմանդամ:

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

ОБ АВТОМОРФИЗМАХ ОТНОСИТЕЛЬНО СВОБОДНЫХ ГРУПП

А. Т. Асланян

*Российско-Армянский университет
Институт математики и высоких технологий*

haikaslanyan@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В данной статье мы продемонстрируем, что некоторые утверждения об автоморфизмах абсолютно свободных групп конечного ранга распространяются на группы автоморфизмов конечно порожденных относительно свободных групп.

Ключевые слова: автоморфизм, свободная группа, относительно свободная группа.

Введение

Обзор по исследованиям групп автоморфизмов относительно свободных без кручения дан в работе [1]. Результаты о группах автоморфизмов относительно свободных периодических групп получены в работах [2–5]. В настоящей статье мы покажем, что некоторые утверждения из работы [6] об $\text{Aut}(F_n)$, где F_n абсолютно свободная группа ранга n , распространяются на $\text{Aut}(R_n)$, где R_n относительно свободная группа ранга n некоторого многообразия групп. Наше изложение опирается на работу [6].

Основные результаты

Будем предполагать, что $n \geq 3$, и будем фиксировать базис $\{a_1, \dots, a_n\}$ свободной бернсайдовой группы R_n . В соответствии с выбором базиса в группе автоморфизмов группы R_n возникает конечная подгруппа изоморфная группе \mathbb{Z}_2^n , которая порождается автоморфизмами ε_i , где $\varepsilon_i: a_i \mapsto a_i^{-1}$ и $a_j \mapsto a_j$ для $j \neq i$. В свою очередь, перестановки базисных элементов порождают под-

группу в $\text{Aut}(R_n)$, изоморфную симметрической группе S_n . Мы будем представлять элементы из S_n в виде произведения циклов. Например, $(1\ 2)$ будет обозначать автоморфизм, который переставляет местами a_1 и a_2 и оставляет другие a_i в своих местах.

Обозначим $\varepsilon_{\sigma(i)} = \sigma\varepsilon_i\sigma^{-1}$ для каждой перестановки $\sigma \in S_n$. Легко понять, что ε_i и S_n вместе порождают подгруппу $W_n \cong (\mathbb{Z}_2)^n \rtimes S_n$. Мы будем рассматривать также левые нильсеновские преобразования: λ_{ij} отображает a_i на $a_j a_i$ и оставляет другие a_k на своих местах при $k \neq i$. Аналогично будут определяться правые нильсеновские преобразования $\rho_{ij}: a_i \mapsto a_i a_j$. Все нильсеновские преобразования находятся в подгруппе $\text{Aut}^+(R_n)$ индекса 2, который является образом подгруппы $SL(n, \mathbb{Z}_k)$ при естественном отображении $\text{Aut}(R_n) \rightarrow GL(n, \mathbb{Z}_k)$, если экспонента рассматриваемого многообразия равна k , и $\text{Aut}^+(R_n)$, совпадает с образом естественного отображения $\text{Aut}(R_n) \rightarrow GL(n, \mathbb{Z})$, если экспонента рассматриваемого многообразия равна 0, т.е. свободные порождающие относительно свободной группы R_n имеют бесконечный порядок. Обозначим через A подгруппу группы $\text{Aut}(R_n)$, порожденную всеми нильсеновскими преобразованиями и автоморфизмами ε_i . Если σ перестановка, которая переводит (i, j) на (k, l) , тогда $\sigma\lambda_{ij}\sigma^{-1} = \lambda_{kl}$. Кроме того, $\varepsilon_i\varepsilon_j\lambda_{ij}(\varepsilon_i\varepsilon_j)^{-1} = \rho_{ij}$. Поэтому любые два нильсеновских преобразования сопряжены при фиксированном базисе. И так как A действует транзитивно на базисы R_n , значит: нильсеновские преобразования, соответствующие различным базисам также сопряжены в A . В частности, справедлива следующая:

Лемма 1. Если какое-то нильсеновское преобразование принадлежит ядру некоторого гомоморфизма $\varphi: A \rightarrow G$, то φ факторизуется через $A \rightarrow \mathbb{Z}_2$.

Для того чтобы написать соотношения группы $\text{Aut}(R_n)$ стандартным и удобным способом, мы будем придерживаться соглашения, что $\text{Aut}(R_n)$ действует на R_n справа. Как обычно, коммутатор $aba^{-1}b^{-1}$ элементов a и b обозначается через $[a, b]$. Поэтому $[\alpha, \beta]$ будет обозначать действие сначала автоморфизма α , потом $-\beta$, потом $-\alpha^{-1}$, потом $-\beta^{-1}$.

Мы будем также использовать следующие соотношения:

$$[\lambda_{ij}, \lambda_{jk}] = \lambda_{ik} \text{ и } [\lambda_{ij}, \lambda_{kj}] = 1$$

для любых i, j и k , которые проверяются непосредственно.

Теорема 1. Пусть $n \geq 3$ и имеем гомоморфизм $\varphi: A \rightarrow G$. Если φ не инъективный гомоморфизм на S_n , то либо φ – тривиальный гомоморфизм, либо его образ состоит из двух элементов.

Доказательство. Обозначим через K ядро $\varphi|_{S_n}$. Так как $n \geq 3$ и $K \neq S_n$, мы будем иметь $K = A_n$, или если $n = 4$, то $K = \mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2$.

Если $K = A_n$, тогда все 3-цикла располагаются в ядре. Используя соотношения $(ijk)\lambda_{jk}(ijk)^{-1} = \lambda_{ij}$ и $[\lambda_{ij}, \lambda_{jk}] = \lambda_{ik}$, получим

$$\begin{aligned} \varphi(\lambda_{ik}) &= \varphi([\lambda_{ij}, \lambda_{jk}]) = \\ &= \varphi\left((ijk)\lambda_{jk}(ijk)^{-1}\lambda_{jk}(ijk)\lambda_{jk}^{-1}(ijk)^{-1}\lambda_{jk}^{-1}\right) = \varphi(\lambda_{jk}\lambda_{jk}\lambda_{jk}^{-1}\lambda_{jk}^{-1}) = 1. \end{aligned}$$

Поэтому $\varphi(\lambda_{ik}) = 1$ для любых i, k . Тогда по лемме 1 вся группа A отображается на тривиальный элемент.

Если $n = 4$ и $K = \mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2$, то произведения любых двух независимых транспозиций из S_4 будут отображаться на единицу. Поэтому, в силу равенства

$$(jk)(il)\lambda_{jk}(jk)(il) = \lambda_{kj}$$

получаем, что $\varphi(\lambda_{jk}) = \varphi(\lambda_{kj})$. Применив φ на обе части равенства $[\lambda_{ij}, \lambda_{jk}] = \lambda_{ik}$, получим

$$\begin{aligned} \varphi(\lambda_{ik}) &= \varphi([\lambda_{ij}, \lambda_{jk}]) = \varphi(\lambda_{ij}\lambda_{jk}\lambda_{ij}^{-1}\lambda_{jk}^{-1}) = \varphi(\lambda_{ij})\varphi(\lambda_{jk})\varphi(\lambda_{ij})^{-1}\varphi(\lambda_{jk})^{-1} = \\ &= \varphi(\lambda_{ij})\varphi(\lambda_{kj})\varphi(\lambda_{ij})^{-1}\varphi(\lambda_{kj})^{-1} = \varphi([\lambda_{ij}, \lambda_{kj}]) = 1. \end{aligned}$$

Отсюда, как и раньше, выводим, что $A \cap \text{Aut}^+(B(3, n))$ отображается на единицу группы G .

Теорема 2. Пусть имеем группу G и гомоморфизм $\varphi: A \rightarrow G$. Образ φ тривиален в том и только в том случае, если $\varphi(\tau) = 1$, где $\tau = (12)$.

Доказательство. Если $\varphi(\tau) = 1$, то поскольку S_n порождается всевозможными сопряженными элементами $\tau(S_n$ порождается транспозициями), значит, вся группа S_n имеет тривиальный образ. В силу теоремы 1 образ $A \cap \text{Aut}^+(R_n)$ тривиален, и поскольку $\tau \notin A \cap \text{Aut}^+(R_n)$, значит образ $\varphi(A)$ группы A должен быть тривиальным.

Следствие 1. Группа A является нормальным замыканием транспозиции (12) .

ЛИТЕРАТУРА

1. Romankov V. Automorphisms of groups, Acta Applicandae Mathematicae, 29(3), (1992). PP. 241–280.
2. Атабекян В.С. Нормальные автоморфизмы свободных бернсайдовых групп. Ер.: Изд-во. РАН. Сер. матем., 75:2 (2011). СС. 3–18.
3. Атабекян В.С. Расщепляющие автоморфизмы порядка $pkpk$ свободных бернсайдовых групп – внутренние. Матем. заметки, 95:5 (2014). PP. 651–655.

4. *Atabekyan V.S.* The groups of automorphisms are complete for free Burnside groups of odd exponents $n \geq 1003$, *Int. J. Algebra Comput.*, 23:6 (2013). PP. 1485–1496.
5. *Atabekyan V.S.* The automorphism tower problem for free periodic groups, *Proceedings of the YSU, Physics & Mathematics*, 2013, no. 2. PP. 3–7.
6. *Bridson M.R. and Vogtmann K.* Automorphisms of Automorphism Groups of Free Groups *J. Algebra*, 229, (2000). PP. 785–792.

ABOUT AUTOMORPHISMS OF RELATIVELY FREE GROUPS

H. Aslanyan

*Russian-Armenian University
Institute of Mathematics and High Technology*

haikaslanyan@gmail.com

ABSTRACT

We show that some statements about the automorphisms of absolutely free groups of finite rank can be extended to the group of automorphisms of finite generated relatively free groups.

Keywords: automorphism, free group, relatively free group.

ՀԱՐԱԲԵՐԱԿԱՆՈՐԵՆ ԱԶԱՏ ԽՄԲԵՐԻ ԱՎՏՈՍՈՐՏԻԶՄՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Հ.Տ. Ասլանյան

*Հայ-Ռուսական համալսարան
Մաթեմատիկայի և բարձր տեխնոլոգիաների ինստիտուտ*

haikaslanyan@gmail.com

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Ցույց է տրվում, որ վերջավոր ռանգ ունեցող բացարձակ ազատ խմբերի ավտոմորֆիզմների խմբերին վերաբերող որոշ պնդումներ կարելի է տարածել նաև վերջավոր ծնված հարաբերական ազատ խմբերի ավտոմորֆիզմների խմբերի վրա:

Հիմնաբառեր՝ ավտոմորֆիզմ, ազատ խումբ, հարաբերական ազատ խումբ:

TO SOLUTION THE SPHERICAL RADON EQUATION

R. Aramyan

*Russian-Armenian University
Institute of Mathematics and High Technology*

rafikaramyan@yahoo.com

ABSTRACT

The article suggests a new approach what is called a consistency method for the inversion of the spherical Radon transform in 2D with detectors on a line. It is known that there is not an exact inversion formula in 2D. By means of the method was proved that reconstruction has a local description (see: Theorem 1).

Keywords: tomography, thermoacoustic tomography, spherical Radon transform, inverse problem.

1. Introduction

Medical tomography has had a huge impact on medical diagnostics.

The classical Radon transform maps a function to its integrals over straight lines and serves as the basis of x-ray Computer Tomography. Recently researchers have been developing novel methods that combine different physical types of signals. The most successful example of such a combination is the thermoacoustic tomography (TAT). Thermoacoustic theory has been discussed in many literature reviews such as [8]–[13]. Briefly TAT procedure is: a short-duration electromagnetic (EM) pulse is sent through a biological object (e.g., a woman breast in mammography) with the aim of triggering a thermoacoustic response in the tissue. The amount of energy absorbed at a location X strongly depends on the local

biological properties of the cells. Thus, if the energy absorption distribution function f were known, it would provide a great diagnostic tool. The acoustic wave which is the result of the thermo elastic expansion can be measured by transducers placed outside the object (assuming the sound speed c constant).

Thus, one effectively measures the integrals of f over all spheres centred at the transducers locations. To recover f one needs to invert the so-called spherical Radon transform of f that integrates a function over all such spheres. It is useful to notice that mathematical problems of the same type as in TAT, arise also in sonar and radar research.

We denote by R^n ($n \geq 2$) the Euclidean n – dimensional space.

Let S^{n-1} be the $n-1$ dimensional unit sphere in R^n with the centre at the origin $O \in R^n$, σ_n its total surface measure. By $S(P; r)$ we denote the sphere of radius $r > 0$ centred at $P \in R^n$. The above motivated the study of the following mathematical problem. For a continuous, real valued function f defined on R^n , $n \geq 2$, define the mean value operator

$$Mf(P, r) = \frac{1}{\sigma_n} \int_{S^{n-1}} f(P + r\omega) d\omega \quad \text{for } (P, r) \in L \times (0, \infty). \quad (1)$$

Here $d\omega$ is the spherical Lebesgue measure on S^{n-1} and $L \subset R^n$.

(1) defines the spherical Radon transform

$$M : C(R^n) \rightarrow C(L \times (0, \infty)) \quad (2)$$

maps a continuous function f to spherical mean values.

For functions f supported in a compact region G , we are interested in recovering f from the mean value of f over spheres centred on L ; that is, given $Mf(P; r)$ for all $P \in L$ and $r > 0$, we wish to recover f .

In order to implement the TAT reconstruction the following problems arise. For which sets L the data collected by transducers placed along L is sufficient for unique reconstruction of f (set L is called a set of infectivity if the transform (2) is injective). In the case the transform is injective, what are inversion formulae.

Agranovsky and Quinto in [1], [2] have proved several significant uniqueness results for the spherical Radon transform. In [1] they gave a

complete characterization of sets of uniqueness (sets of centres) for the circular Radon transform on compactly supported functions in the plane. In [3], was provided a complete range description in case of circular Radon transform in 2D.

Obviously any line L (or a hyperplane in higher dimensions) is a non-uniqueness set, since any function f odd with respect to L will clearly produce no signal: $Mf(p; r) = 0$. On the other hand (see [13]), if f is supported completely on one side of the line L (the standard situation in TAT), it is uniquely recoverable from its spherical means centred on L , and thus from the observed data.

Exact inversion formulae for the spherical Radon transform are currently known for boundaries of special domains, including spheres, cylinders and hyperplanes ([5],[8]). Recently explicit inversion formulae for elliptic domains started to appear in the literature. In spite of absence of exact FBP formulae in 2D, approximate ones that preserve all the singularities of the image can be easily written and then improved by successive iterative corrections.

The article suggests a new approach what is called a consistency method for the inversion of the spherical Radon transform. By the method was proved that reconstruction has a local description (see Theorem 1 below). Also by means of the method for a function f supported completely on one side of a line L , one can find a new iteration algorithm to recover f from its spherical means $Mf(p; r)$ for all $P \subset L$ and $r > 0$, over circles centred on L .

The algorithm of reconstruction allows successful numerical implementation.

The consistency method, suggested by the author of the paper, first was applied in [6] (see also [17]) to inverse generalize Radon transform on the sphere.

Note, one can apply the consistency method to inverse the spherical Radon transform for dimensions $n \geq 3$. Also, one can consider to apply the consistency method to inverse the spherical Radon transform for different geometries of transducers.

2. The consistency method

Now we consider the circular Radon transform on the plane. For a continuous function f supported in the compact region G on the plane we have (see (1))

$$Mf(P, r) = \frac{1}{2\pi} \int_S f(P + r\omega) d\varphi \text{ for } (P, r) \in L \times (0, \infty). \quad (3)$$

Here $d\varphi$ is the spherical Lebesgue measure on the circle, $\omega = (\sin \varphi; \cos \varphi)$. The value $Mf(p; r)$ is the average of f over the sphere $S(p; r)$ with centre $P \subset L$ and radius $r > 0$.

We consider the restriction of f onto the circle $S(p; r)$ for $(P; r) \in L \times (0, \infty)$. The restriction of f is a function defined on the space of a pair say $(S(p; r); q)$ where $q \in S(p; r)$ which we call a circular flag (in integral geometry there is a concept of a flag an ordered pair of orthogonal unit vectors [4]).

There are two equivalent representations of a circular flag $(S(p; r); q)$ where $q \in S(p; r)$, dual each other:

$$(p, r, \varphi) \text{ and } (x, y, \phi) \quad (4)$$

where $p \in L$ and $\varphi \in [\pi/2; -\pi/2]$ is the angular coordinate of $q \in S(p; r)$ measured from the direction perpendicular to L , while $x; y$ are the Euclidean coordinates of q and ϕ is the direction (the angular coordinate) of \overline{qp} .

Thus one can represent the restriction of f onto the circle $S(p; r)$ by $f(p; r; \varphi)$, where $\varphi \in [\pi/2; -\pi/2]$ is the angular coordinate of a point $q \in S(p; r)$.

The idea of the method is the following: for every $(p; r)$ the equation (3) reduces to an integral equation on the circle $S(p; r)$. The general solution of the reduced integral equation we write in terms of Fourier series expansion with unknown coefficients. Let $G(p; r; \varphi)$ be a solution of the reduced integral equation for $(p; r)$.

Definition 1. If $G(p; r; \varphi)$ written in dual coordinates satisfies

$$G(x, y, \varphi) = G(x, y) \quad (5)$$

(no dependence on the variable φ), then G is called a consistent solutions.

There is a principle: each consistent solutions G produces via the map

$$G(p, r, \varphi) = G(x, y, \varphi) = G(x, y) = f(x, y) \quad (6)$$

the solution of (3), and vice versa. Conversely, restrictions of the solution of (3) onto the circles $S(p; r)$ ($(p; r) \in L \times (0, \infty)$) is a consistent solutions.

Hence the problem of finding the solution of (3) reduces to finding the consistent solutions of the reduced equations (3).

Using the approach we proved the following theorem. Let f be a continuous, real valued function supported in the compact region G located on one side of the line L . On the plane consider usual Cartesian system of coordinate choosing L as an x -axis.

Theorem 1. Let f be a continuous, real valued function supported in the compact region G located on one side of the line L . For $(x; y) \in G$ the value $f(x; y)$ depends on values Mf on a neighbourhood of $p = (x; 0) \in L$ and $0 \leq r \leq y$.

Also by means of the method for a function f supported completely on one side of a line L , one can find a new iteration algorithm to recover f from its spherical means $Mf(p; r)$ for all $P \subset L$ and $r > 0$, over circles centred on L .

ЛИТЕРАТУРА

1. *Agranovsky M.L., Quinto E.T.* Injectivity sets for the Radon transform over circles and complete systems of radial functions, *J. Funct. Anal.*, vol. 139 (1996). PP. 383–414.
2. *Agranovsky M., Berenstein C.A., and Kuchment P.* Approximation by spherical waves in L_p -spaces, *J. Geom. Anal.*, vol.6 (3) (1996). PP. 365–383.
3. *Ambartsoumian G., Kuchment P.* A range description for the planar circular Radon transform, *SIAM J. Math. Anal.* vol. 38 (2) (2006). PP. 681–692.
4. *Ambartzoumian R.V.* Factorization Calculus and Geometrical Probability, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1990.
5. *Andersson L.E.* On the determination of a function from spherical averages. *SIAM J. Math. Anal.*, vol. 19 (1), (1988). PP. 214–232.
6. *Aramyan R.H.* Generalized Radon transform on the sphere, *Analysis Oldenbourg*, vol. 30 (3) (2010). PP. 271–284.

7. *Aramyan R.* Solution of one integral equation on the sphere by methods of integral geometry, *Doklady Mathematics*, vol. 79(3) 2009. PP. 325–328.
8. *Finch D. and Rakesh* Recovering a function from its spherical mean values in two and three dimensions. In L. V. Wang, editor, *Photoacoustic imaging and spectroscopy*, chapter 7. PP. 77–88. CRC Press, 2009.
9. *Finch D., Patch S.K., and Rakesh.* Determining a function from its mean values over a family of spheres. *SIAM J. Math. Anal.*, vol. 35(5) (2004). PP. 1213–1240.
10. *Natterer F.* *The Mathematics of Computerized Tomography*, vol. 32 of *Classics in Applied Mathematics*. SIAM, Philadelphia, (2001).
11. *F. Natterer and F. Wubbeling* *Mathematical Methods in Image Reconstruction*, vol. 5 of *Monographs on Mathematical Modeling and Computation*. SIAM, Philadelphia, PA, (2001).
12. *P. Kuchment and L. A. Kunyansky*, *Mathematics of thermoacoustic and photoacoustic tomography*. *European J. Appl. Math.*, 19 (2008). PP. 191–224.
13. *John F.* *Plane Waves and Spherical Means Applied to Partial Differential Equations*, Dover, 1971.

К РЕШЕНИЮ СФЕРИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ РАДОНА

Р.Г. Арамян

*Российско-Армянский университет
Институт математики и высоких технологий*

rafikaramyan@yahoo.com

АННОТАЦИЯ

В данной статье предлагается новый подход, который называется «методом согласованности для обращения сферического преобразования Радона в 2D с детекторами на линии». Известно, что не существует точная формула обращения в 2D. Метод доказывает, что восстановление имеет локальное описание (см. теорему 1).

Ключевые слова: томография, термоакустическая томография, сферическое преобразование Радона, обратные задачи.

ԴԵՊՒ ՌԱԴՈՆԻ ԳՆԴԱԶԵՎ ՀԱՎԱՍԱՐՄԱՆ ԼՈՒԾՈՒՄԸ

Ռ.Հ. Արամյան

*Հայ-Ռուսական համալսարան
Մաթեմատիկայի և բարձր տեխնոլոգիաների ինստիտուտ*

rafikaramyan@yahoo.com

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Հոդվածում առաջարկում է նոր մոտեցում, որը կոչվում է համաձայնեցման մեթոդ շրջելու Ռադոնի գնդաձև հավասարումը 2D դեպքում երբ դետեկտորները ուղղի վրա են. Հայտնի է, որ չկա ոչ մի հստակ շրջման բանաձև 2Dում: Մեթոդի միջոցով ապացուցեց, որ վերականգնումը ունի տեղական նկարագրությունը (տես թերթերը 1):

Հիմնաբառեր՝ տոմոգրաֆիա, թերմոակուստիկ տոմոգրաֆիա, Ռադոնի գնդաձև ձևափոխություն, հակադարձ խնդիր:

ИНФОРМАТИКА

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА МУЗЫКАЛЬНЫХ ПРОИЗВЕДЕНИЙ

Л.А. Азнаурян

Российско-Армянский университет

lusine.aznauryan8@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Данная научная статья представляет собой исследование математических методов для раскрытия объективных механизмов описания и анализа музыкальных произведений, гармонии, исполнительства, «технологии» творчества и практической реализации художественно-эстетических замыслов. В работе выполнен обзор алгоритмических методов.

Ключевые слова: фрактал, марковские цепи, гармонические интервалы, Fuzzy Logic.

Отношения музыки и математики изучались великими математиками и музыкантами еще со времен Пифагора. Сегодня этот союз искусства и науки воплотился в компьютерной музыке, основанной на теории алгоритмов.

Алгоритмом называют строго определенную последовательность действий, приводящую к искомому результату.

На основе алгоритмов были построены такие музыкальные программы, как Music 4, C-Sound, Supercollider, MAX/MSP и т.п. В алгоритмической музыке в качестве отправной точки часто используется

колебание некоторой величины в определенном диапазоне по случайному закону. Компьютерная композиция в качестве «темы» опирается на конструктивный алгоритм, который всегда индивидуализирован в композиторском сознании, а специально созданная программа в определенной ситуации может быть приравнена к прототипу произведения. Исследователь этого феномена Алексей Розен считает, что алгоритмы в музыке – это предписания и ограничения, управляющие процессами отсеивания или генерирования звукового материала [1].

А. Васильев, автор статьи «Музыкальный композитор, основанный на многослойной нейронной сети», выделяет 4 типа алгоритмической композиции:

1) композиция, основанная на применении математических функций: стохастических, теории хаоса, фракталах;

2) композиция, основанная на применении комбинаторных методов (например, марковских цепей, ассоциативных сетей переходов, стохастических матриц);

3) композиция, основанная на применении природных процессов: клеточных автоматов, генетических алгоритмов, нейронных сетей;

4) композиция, построенная с помощью процессов, основанных на правилах.

Термин «фрактал» был введен математиком Бенуа Мандельбротом, который определил фрактал как множество. Само слово фрактал происходит от латинских слов *fractus* – дробный и *frangere* – ломать, что отражает суть фрактала, как «изломанного», нерегулярного множества. Основными свойствами фрактальных множеств являются нерегулярность и самоподобность. Одной из общепринятых классификаций является разделение фракталов на геометрические, алгебраические и стохастические. В музыкальном плане наиболее интересными являются последние из этих категорий. Стохастическими фракталами называют фракталы, при построении которых в итеративной системе случайным образом изменяются какие-либо параметры. Термин «стохастичность» происходит от греческого слова, обозначающего «предположение». С помощью компьютера такие процессы строить достаточно просто, так как он позволяет генерировать последовательности случайных чисел.

На основе стохастических фракталов можно проектировать структуры, подобные природным, поэтому степень применения фракталов в различных отраслях науки и искусства сегодня огромна [2].

Композиторам передать свою идею в будущем произведении позволяет алгоритмическая композиция. Она включает в себя действия, применяемые к различным параметрам композиционного процесса – от выработки определенных закономерностей произведения на этапе его подготовки, генерации последовательности звуковысот, длительностей, ритмических групп – до созданных с помощью компьютерных программ, полностью автоматизированных алгоритмических произведений (в последнем случае акт творчества имеет место только при составлении такой программы самим композитором).

Существенный вклад в развитие фрактальной музыки внес венгерский биолог и ботаник Аристид Линдермайер, который в 1968г. предложил математическую модель для изучения простых многоклеточных организмов, которая нашла применение в моделировании сложных ветвящихся структур: деревья, цветы и др. Линденмайер обнаружил, что поведение клеток растений подчиняется математическим законам самоподобия, и на основе своего открытия разработал математический аппарат – L-системы. В их основе лежит фрактальный принцип: каждая часть предмета похожа на весь предмет целиком. Изначально L-системы применяли при изучении формальных языков и в селекции. Большая часть современной фрактальной музыки написана с использованием именно L-систем. В музыке приложение элементов фрактальной геометрии используют в трёх областях: композиция, синтез звука, аналитические исследования. Популярным является использование систем нелинейных динамических уравнений в алгоритмической композиции – метод фрактальной композиции [3].

Таким образом, использование фракталов в музыкальном искусстве и науке занимает важное место. В основе этих исследований лежит теория Ричарда Восса, который установил, что любой звук имеет фрактальные свойства. Исследователь идентифицировал три категории звука, основанные на математических элементах:

- 1) белый шум (случайный шум – определяется как тревожащий слушателя);

2) розовый шум (занимает промежуточное положение, более структурированный, нежели белый – является самым приятным для восприятия слушателя);

3) коричневый шум (структурированный шум – определяется как механический для слушателя).

Р. Восс обнаружил, что, исследуя фрактальную природу розового шума, можно генерировать приятные для слуха мелодии, так как розовый шум является балансом между полной хаотичностью и чрезвычайной структурированностью [4].

Цель всех этих исследований – найти нечто универсальное в музыкальных произведениях, то, что стоит выше индивидуальных культур и художественного вкуса.

Путем анализа спектральной плотности розовый шум обнаружен в Бранденбургском концерте Баха и регтаймах Джоплина. Основным способом получения звуковых материалов с помощью фрактальной методики является генерация изображений с их дальнейшим переводом в звуковую область по некоторым правилам, например, с помощью привязки фигуры к условной сетке координат, одним из измерений которой будет высота звука, а другим – длительность нот. Такая процедура носит название сонификации. Существуют программы, способные переводить фрактальные изображения непосредственно в звуковой спектр. Фрактальная композиция развивается, создавая новый музыкальный материал, систематически преобразовывая предыдущий.

Однако полученный материал является музыкой лишь в потенциале и требует серьезной работы с ним композитора.

Клеточные автоматы в музыке

Такие методы, как клеточные автоматы и марковские цепи, используются при генерации разных аспектов музыкальной формы и фактуры. Цепь Маркова – это стохастическая система, текущее состояние которой зависит от предыдущих ее состояний. Клеточные автоматы представляют собой множество элементов, каждому из которых приписывается набор конечного количества состояний, и эти состояния могут переходить друг в друга по правилам.

Пример. Закодируем в некоторых состояниях длительности нот – половинную, четверть и восьмую. Правила перехода могут выглядеть так: из восьмой с вероятностью 60% мы переходим к половинной, с вероятностью 30% – к четверти, и с вероятностью 10% – к восьмой. С использованием генератора случайных чисел можно получать по этой схеме последовательности нот определенного качества. Меняя процентные характеристики этой генеративной схемы, можно изучать зависимость восприятия ритма от соотношения в нем коротких и длинных длительностей.

Задачу поиска и оценки схожести полифонических музыкальных композиций решает модель Пикенса-Кроуфорда – марковские цепи.

Каждая композиция представляется вероятностями цепочек переходов между аккордами. Авторы строят марковские модели 0, 1, 2 и 3 порядка. Марковская модель порядка представляется в виде матрицы размера: строки матрицы представляют собой пространство предыдущих состояний (модель порядка учитывает предыдущих состояний).

Для задачи поиска авторы используют расстояние Кульбака-Лейблера, подсчитывая расстояние между распределениями марковской цепи d , обученной для каждой композиции в базе данных, и марковской цепью запроса q . Расстояние Кульбака-Лейблера вычисляется как

$$D(q \parallel d) = \sum_{q_i \in q, d_i \in d} \sum_{x \in X} q_i(x) \log \frac{q_i(x)}{d_i(x)}$$

Интересны полученные результаты. Они свидетельствуют, что в целом увеличение длины марковской цепи в модели песни улучшает работу поиска, но среди марковских цепей фиксированной длины без факторизации по транспозициям лучше всех оказалась самая простая модель – марковская цепь нулевого порядка [5].

Искусственные нейронные сети.

В наше время обучаемые нейросети творят удивительные вещи, но эксперименты в этой области продолжают открывать нечто новое. Например, программист Даниэль Джонсон (Daniel Johnson) опубликовал результаты своих экспериментов по применению нейросетей для генерации классической музыки [7].

Генетические алгоритмы.

Еще один класс алгоритмов, попавший в музыку из биологии транзитом через математику, – генетические алгоритмы. Геном в таком упрощенном понимании представляется набором элементов; вектором, составленным из «генов». Каждому из «генов» или их объединению приписываются некоторые музыкальные значимости типа звуковысотности, гармонии, ритма и т.д.

Процесс «скрещивания» состоит в получении комбинаций из заданных векторов, называемых «поколением». Правила комбинации «генов», в результате которой получаются новые последовательности (следующее поколение), зависят от постановки задачи и от фантазии автора. Используются, по сути, те же методы, что и в комбинаторных подходах сериальной музыки: трансформации, перестановки и транспозиции. Фактически, в данном методе можно рассматривать геномы как серии – и обращаться с ними соответственно. После получения следующего поколения «геномы» переводятся либо в ноты, либо непосредственно в звук (сонифицируются) [6].

Композиторы Карлхайнц Штокхгаузен и Пьер Булез довели математизацию музыкальной ткани до предела. Двенадцатитоновая «тема» была разбита на серии (более короткие отрезки по несколько нот). Всем параметрам (длительностям нот, громкости, темпу, штрихам типа стакато или легато) были присвоены числовые обозначения. Процесс сочинения музыки сводился к математическим манипуляциям с числами.

Композитор Оливье Мессиан, помимо традиционных диатонических ладов европейской музыки типа мажора или минора, с помощью численных методов создавал искусственные лады, а также ритмические последовательности, несвойственные традиционной европейской музыке. Для генерации ритмических последовательностей использовались ряды чисел, например, простых (то есть делящихся только на себя и на единицу). Все разнообразие методов Мессиана можно свести к двумерным таблицам чисел – матрицам, кодирующим высоту и длительность нот. Музыкальный материал получается с помощью операций над этими таблицами, например, сложения и умножения матриц, умножения матриц на число.

В принципе, создавать музыку таким методом очень легко, владея математикой и теорией музыки в объеме музыкальной школы. Если же привлечь на помощь теорию множеств, числовые ряды (например, простую арифметическую прогрессию, ряд Фибоначчи) или комбинаторику, получая всевозможные сочетания аккордов или перестановки длительностей, можно прослыть весьма изощренным композитором.

Но почему-то результат применения одних и тех же знаний – разный. Чья-то музыка остается музыкой и даже вызывает некоторый слушательский интерес и реакцию, пусть даже и отрицательную [6].

Музыка, написанная с применением ряда Фибоначчи

Другая часть произведений, построенных по тем же самым правилам, воспринимаются просто как случайный набор звуков, не несущий никакого эстетического смысла. Классический упрощенный пример: «Нот всего семь, но почему у Моцарта из них получается *Symphony No 40*?». Очевидно среди композиторов, применяющих математические концепции в музыке, преимущество всегда будет оставаться за теми, кто, помимо этих концепций, знает и другие методы композиции, а также в целом имеет большие способности и широкое музыкальное образование. Такое образование непременно включает в себя знания из разных областей математики, психологии и физики [4].

Эти работы позволили выдвинуть гипотезу, что музыкальные алгоритмы и их построение для традиционных музыкально-теоретических курсов и сольфеджио можно разработать на новейшей математической основе – на основе теории нечеткой логики (Fuzzy logic). В результате чего становится возможным оптимизировать и приблизить учебные курсы к математическим формам преподавания в музыкальной практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бекман И.Н.* ФРАКТАЛЫ. Эл. источник: http://beckuniver.ucoz.ru/Fractaly_Lec2.pdf.
2. *Айдарова И.Р.* К вопросу использования теории фракталов в музыкальном искусстве и науке.

3. Fractals and music.
http://www.emusician.com/mag/emusic_fractals_music/.
4. Черненко В. Как писать музыку с помощью математики? Эл. источник:
<http://zillion.net/ru/blog/241/kak-pisat-muzyku-s-pomoshch-iu-matiematiki>.
5. Балтийский И.А., Николенко С.И. Обзор графических вероятностных моделей гармонии для анализа музыкальных произведений. Эл. источник: <http://docplayer.ru/26370454-i-a-baltiyskiy-s-i-nikolenko-obzor-graficheskikh-veroyatnostnyh-modeley-garmonii-dlya-analiza-muzykalnyh-proizvedeniy.html>.
6. Эл. источник: <http://zillion.net/ru/blog/251/matiemuzyka-2-muzyka-biologhiia-iazyk-matiematika>.
7. Composing Music With Recurrent Neural Networks.
<http://www.hexahedria.com/2015/08/03/composing-music-with-recurrent-neural-networks/>.

STUDY ON MODELS AND ALGORITHMIC METHODS OF MUSIC ANALYSIS

L. Aznauryan

Russian-Armenian University

lusine.aznauryan8@gmail.com

ABSTRACT

The article presents a study of mathematical methods for disclosure of objective mechanisms for description and analysis of music, harmony, performance, creativity «technology» and practical implementation of art and aesthetic designs. The paper gives an overview of algorithmic methods.

Keywords: fractal, harmonic interval, markov chains, Fuzzy Logic.

ՄՏԵՂԾԱԳՈՐԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ և
ԱԼԳՈՐԻԹՄԻԿ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

Լ. Ա. Ազնաուրյան

Հայ-Ռուսական համալսարան

lusine.aznauryan8@gmail.com

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Այս հոդվածը մաթեմատիկական մեթոդների ուսումնասիրությունն է՝ երաժշտական ստեղծագործությունների, ներդաշնակության, կատարողականության, ստեղծագործական «տեխնոլոգիայի» նկարագրության և վերլուծության, այդ թվում՝ գեղարվեստական և գեղագիտական գաղափարների պրակտիկ իրականացման օբյեկտիվ մեխամիզմների բացահայտման նպատակով: Աշխատանքում ներկայացված է ալգորիթմիկ մեթոդների:

Հիմնաբառեր՝ ֆրակտալ, հարմոնիկ ընդմիջումներ, Մարկովի շղթաներ, Fuzzy Logic:

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ УЧЕБНО- МЕТОДИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

И.В. Ахумян, А.Г. Карапетян

Российско-Армянский университет

irinarau@mail.ru, karapetyanhayarpj@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с организацией и оптимизацией процесса тестирования в ВУЗ-ах. Оценивается эффективность и валидность тестовых заданий на основе статистических характеристик, а также даются рекомендации по улучшению этих показателей. Предложенная модель оценки качества теста апробирована на реальных тестовых заданиях с их онлайн генерацией, которые используются в учебном процессе РАУ кафедрой системного программирования.

Ключевые слова: тестовая система, качественные характеристики теста, статистический анализ.

Одним из путей повышения качества обучения в системе высшей школы является контроль знаний студентов. После введения в систему образования балльно-рейтинговой системы для оценки знаний студентов все чаще используется такая форма контроля как компьютерное тестирование.

Основой компьютерного тестирования является база тестовых заданий, и задача составителя тестов состоит в улучшении характеристик тестовых заданий с целью повышения точности и объективности оценки уровня знаний студентов. В связи с этим, актуальной является задача оценки качества тестов в соответствии с принятыми критериями качества. К этим критериям относятся надежность, валидность, дискриминативность.

В современной теории тестов надежностью (*reliability*) называется характеристика точности тестовых результатов и их устойчивости к действию случайных факторов [1]. Вне зависимости от метода оценки надежности (дву-

кратное тестирование, тестирование с помощью параллельных форм и др.) она строится на подсчете корреляции между двумя наборами данных. Чаще всего, в качестве критерия надежности тестового задания используют коэффициент надежности Гутмана, коэффициент корреляции Спирмана-Брауна, коэффициент корреляции Пирсона [2].

Понятие «валидность» характеризует меру способности теста давать результаты, позволяющие осуществить их правильную интерпретацию с точки зрения цели тестирования [3]. Тест считается валидным, если средний результат тестирования характерен для большей части опрошенных, а сами результаты распределяются по нормальному закону (валидность по распределению).

Дискриминативность или дифференцирующая способность теста характеризует его способность отделить испытуемых с высоким уровнем знаний от испытуемых с низким уровнем знаний.

В статье рассматривается задача статистической обработки результатов тестирования, проводимого в качестве текущего и промежуточного контроля по освоению студентами пройденного материала в рамках балльно-рейтинговой системы и создания программной системы для решения этой задачи. Интерпретация результатов анализа позволит выработать рекомендации по улучшению качественных характеристик тестовых заданий.

Анализ тестовых заданий математическими методами позволяет избежать повторного тестирования для оценки надежности теста и дает возможность получить информацию о скрытых дефектах тестов, которые не удастся выявить с помощью экспериментальных методов. Сведения о характеристиках заданий, получаемые с помощью математических методов, позволяют конструировать тесты с желаемыми статистическими свойствами. Процесс этот основывается на современной теории тестов (*ItemResponseTheory*) [1].

Анализ свойств тестовых заданий производится в несколько этапов на основе матрицы результатов тестирования размерности $N \times M$, сводящей воедино профили ответов N испытуемых и профили M тестовых заданий [4]. В дихотомическом случае (при оценках 1 или 0, верно или неверно) получается бинарная матрица, в которой в вертикальных столбцах содержатся индивидуальные баллы студентов $X_i (i = 1, 2, \dots, N)$, полученные суммированием единиц по горизонтали в каждом профиле ответов. Сложение единиц в столбцах по профилям ответов на M заданий теста позволяет получить числа $R_j (j = 1, 2, \dots, M)$, соответствующие количеству правильных ответов на каждое задание.

На следующем этапе из бинарной матрицы удаляются задания, на которые были даны только верные или только неверные ответы. Очевидно, что

если на какое-то задание правильно отвечают все тестируемые, либо не отвечает никто, то такое задание не позволяет дифференцировать сильных студентов от слабых. Из матрицы исключаются также студенты, верно или неверно ответившие на все вопросы тестового задания. Таким образом, в матрице не остается строк и столбцов, состоящих только из 0 и 1.

Затем вычисляются индивидуальные баллы i -го испытуемого

$$X_i = \sum_{j=1}^M a_{ij},$$

количество верных ответов R_j на j -ое задание

$$R_j = \sum_{i=1}^N a_{ij},$$

количество неверных ответов W_j на j -ое задание

$$W_j = N - R_j,$$

доля верных ответов p_j на j -е задание

$$p_j = \frac{R_j}{N}.$$

Доля неверных ответов, соответственно, равна $q_j = 1 - p_j$. Вариация тестовых баллов для дихотомического случая равна $p_j \cdot q_j$.

Далее полученная матрица упорядочивается по строкам в порядке убывания индивидуальных баллов испытуемых X_i и по столбцам по убыванию количества верных ответов на каждое задание R_j .

Следующим шагом является подсчет частоты тестовых баллов, то есть количества испытуемых, имеющих данный тестовый балл, и строится соответствующая таблица частот. На основании таблицы частот можно построить полигон частот, либо получить графическое представление результатов тестирования, например, в виде гистограммы. Хорошо составленный тест должен обеспечивать распределение частот тестовых баллов, близкое к нормальному [3].

Как правило, в распределении результатов тестирования тестовые баллы группируются вблизи некоторых, наиболее вероятных значений, которые можно охарактеризовать тремя мерами центральной тенденции: модой, медианой и средним выборочным (или средним арифметическим):

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i.$$

Для анализа результатов тестирования выбирается любая из мер центральной тенденции.

Затем определяется характеристика рассеяния отдельных значений вокруг среднего, например, дисперсия S_x^2

$$S_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$$

или стандартное отклонение

$$S_x = \sqrt{S_x^2}.$$

Стандартное отклонение является общепринятой мерой вариации тестовых баллов. Малые значения этих показателей указывают на недостаточную дифференциацию испытуемых. Слишком большая дисперсия говорит о сильной неоднородности группы испытуемых и, возможно, о недостаточно хорошей формулировке заданий. В случае оптимальной величины дисперсии распределение тестовых баллов должно быть близко к нормальному [5].

Задание в тестовой форме не может считаться тестовым, если оно не коррелирует с суммой баллов по всему тесту. Корреляция является стандартной мерой дифференцирующей способности задания. Чем выше значение корреляции задания с суммой баллов, тем выше его дифференцирующая способность [6]. Поэтому следующим этапом исследования является определение корреляции как между заданиями, так и каждого задания с индивидуальным баллом испытуемого.

Коэффициент корреляции Пирсона φ_{mk} описывает связь между заданиями с номерами m и k и выражается формулой:

$$\varphi_{mk} = \frac{p_{mk} - p_m p_k}{\sqrt{p_m q_m p_k q_k}}$$

где p_m – доля верных ответов для задания с номером m ; q_m – доля неверных ответов для задания с номером m ; p_k – доля верных ответов для задания с номером k ; q_k – доля неверных ответов для задания с номером k ; p_{mk} – доля верных ответов для заданий с номерами m и k . Результаты подсчета коэффициентов корреляции по всем заданиям сводят в таблицу – полную корреляционную матрицу.

Коэффициент бисериальной корреляции определяет корреляцию каждого задания с индивидуальным баллом испытуемого:

$$r_{pb} = \frac{(\bar{X}_1)_j - (\bar{X}_0)_j}{S_x} \sqrt{\frac{(N_1)_j \cdot (N_0)_j}{N - (N - 1)'}}$$

где $(\bar{X}_1)_j$ – среднее значение индивидуальных баллов испытуемых, выполнивших верно j -ое задание теста; $(\bar{X}_0)_j$ – среднее значение индивидуальных баллов испытуемых, выполнивших неверно j -ое задание теста; S_x – стандартное

отклонение по множеству значений индивидуальных баллов; $(N_1)_j$ – число испытуемых, выполнивших верно j -ое задание теста; $(N_0)_j$ – число испытуемых, выполнивших неверно j -ое задание теста; N – общее число испытуемых.

Коэффициент бисериальной корреляции r_{bp} очень важен, так как характеризует валидность заданий теста. Задание можно считать валидным, если коэффициент бисериальной корреляции $r_{bp} \approx 0,5$. Задания с $r_{bp} < 0$ или $r_{bp} \approx 1$ должны быть исключены из теста.

С использованием вышеизложенных методов статистического анализа результатов тестирования студентов для проверки базы тестовых заданий по предмету «Информатика» на надежность и валидность была разработана программная система оценки качества тестовых заданий, снабженная компонентом выработки рекомендаций по их усовершенствованию. Апробация программной системы была проведена по результатам тестирования студентов в среде компьютерной системы тестирования с автоматической генерацией тестового задания. Анализировались результаты тестирования группы из 20 студентов факультета «Лингвистика», тест состоял из 20 заданий, разделенных по сложности на три уровня.

Программным методом были получены: редуцированная бинарная матрица результатов, таблица частотного распределения баллов, основные меры центральной тенденции, полная корреляционная матрица.

Дополнительно с использованием средств Excel 2007 построена диаграмма частотного распределения тестовых баллов (Рис. 1), рассчитаны показатели асимметрии и эксцесса, позволяющие оценить степень отклонения распределения частот выборки от симметричного, характерного для нормальной кривой.



Рис. 1

Интерпретация полученных результатов. О надежности базы тестовых заданий свидетельствуют следующие результаты:

1. Как видно из Таблицы 1, полученное среднее значение тестового балла попадает в интервал «Мода» – «Медиана».

Таблица 1

Мода	13
Медиана	11
Среднее значение	12,45
Дисперсия	8,26
Стандартное отклонение	2,87
Асимметрия	0,30
Экцесс	-0,95

2. Диаграмма частотного распределения тестовых баллов показывает распределение, близкое к нормальному (рис. 1).

3. Чем ближе к нормальному распределению тестовых баллов, тем более валиден тест. Для нормального распределения характерна нулевая асимметрия. В нашем случае асимметрия положительна и равна 0,3, то есть отклонение является незначительным.

4. Тест считается валидным, если средний результат тестирования характерен для большей части опрошенных, а сами результаты распределяются по нормальному закону. В педагогике нормой считается результат, где около 70% испытуемых верно выполняют от 30 до 70% заданий теста, на практике чаще встречается результат 50%. Полученный нами результат 62%.

5. Полученный уровень дисперсии и стандартного отклонения говорят о высокой степени дифференцируемости испытуемых. Превышение разумных пределов дисперсии приводит к искажению вида распределения – у нас кривая распределения тестовых баллов приближена к нормальной (рис.1).

6. Из диаграммы вариационного ряда (Рис. 2) видно, что вопрос номер 7, принадлежащий к группе вопросов средней сложности необходимо перевести в группу легких вопросов, так как на него ответили 95% студентов. На вопрос с номером 19 из серии легких вопросов ответили 90% испытуемых, то есть его следует исключить из базы тестовых вопросов, так как он не дифференцирует студентов по уровню знаний.

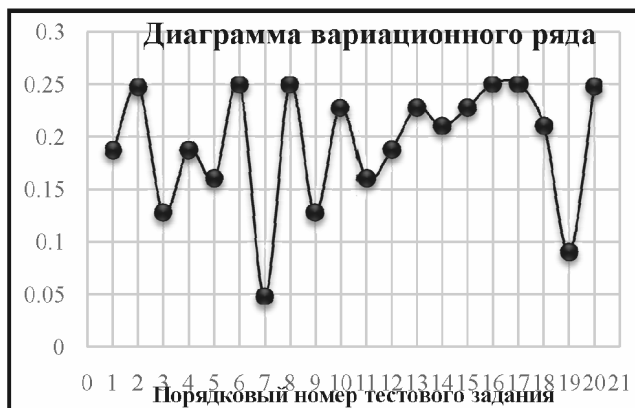


Рис. 2

7. В результате анализа таблицы коэффициентов корреляции (не приводится из-за больших размеров) сделан вывод об исключении вопроса под номером 4 из базы тестовых заданий, так как у него отрицательная корреляция со всеми вопросами теста.

В процессе анализа выявлена необходимость добавить информацию о принимаемом уровне риска допущения ошибки в статистическом выводе (наиболее приемлемым для педагогических измерений является уровень в 5%, который допускает ошибку в 5 случаях из 100).

Таким образом, проведенный анализ в целом показал высокий уровень надежности тестов, созданных сотрудниками кафедры Системного программирования по предмету «Информатика» для гуманитарных факультетов РАУ и соответствует основным требованиям, предъявляемым к тестам. Полученные результаты дают возможность использования вышеуказанных методов для проверки надежности тестовых заданий по другим предметам на всех факультетах РАУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чельщикова М.Б.* Теория и практика конструирования педагогических тестов: учебн. пособ. М: Логос, 202, 432 с.
2. *Аванесов В.С.* Композиция тестовых заданий. Учебная книга. 3-е изд., доп. М.: Центр тестирования, 2002. 240 с.

3. *Звонников В.И., Чельщикова М.Б.* Контроль качества обучения при аттестации: комплексный подход. Эл. источник: www.plam.ru/ucebник/kontrol_kachestva_obuchenija_pri_attestacii_kompetentnostnyi_podhod/p8.php
4. *Зайнцев Ф.Х., Сушков С.В.* Компьютерная система тестирования и оценка качества тестовых заданий // Вестник ТГТУ. № 1 (23), 2011.
5. *Ким В.С.* Тестирование учебных достижений: монография. Уссурийск: УГПИ, 2007.
6. *Краснов Ю.Э.* Руководство по разработке тестовых заданий и конструированию педагогических тестов. Центр проблем развития образования Белорусского госуниверситета, г. Минск.

QUALITY ESTIMATION OF TEST TASKS IN ORDER TO OPTIMIZE TEACHING AND METHODOICAL PROCESS

I. Hakhmyan, H. Karapetyan

Russian-Armenian University

Irinarau@mail.ru, karapetyanhayarpi@gmail.com

ABSTRACT

Problems related to the organization and optimization of the testing process in universities are considered. The effectiveness and validity of the test tasks is estimated on the basis of statistical characteristics. Some recommendations to improve these indicators are provided as well. The proposed model for evaluating the quality of the system has been tested on real test tasks, which are used in RAU at the Department of System Programming.

Keywords: test system, test quality characteristics, statistical analysis.

ԹԵՍՏԱՅԻՆ ՀԱՆՁՆԱԴՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ՝
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԵԹՈՂԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԸ ԲԱՐԵԼԱՎԵԼՈՒ ՆՊԱՏԱԿՈՎ

Ի. Վ. Հայտույան, Հ. Գ. Կարապետյան

Հայ-Ռուսական համալսարան

Irinarau@mail.ru, karapetyanhayarpi@gmail.com

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Հոդվածում դիտարկվում են ԲՈԻՀ-երում թեստավորման գործընթացի կազմակերպման և բարելավման հետ կապված հարցեր: Գնահատվում է թեստային առաջադրանքների էֆեկտիվությունը և վալիդությունը վիճակագրական բնութագրիչների հիման վրա: Նաև տրվում են որոշակի խորհուրդներ նշված ցուցանիշները լավացնելու նպատակով: Թեստի որակի գնահատման մոդելը փորձարկված է իրական թեստային առաջադրանքների վրա, որոնք կիրառվում են Հայ-Ռուսական համալսարանի Համակարգային ծրագրավորման ամբիոնում:

Հիմնաբառեր՝ թեստային համակարգ, թեստի որակային բնութագրիչներ, վիճակագրական վերլուծություն:

ПРОБЛЕМЫ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРЕДЛОЖЕНИЯ

(На примере восточно-армянского литературного языка)

В.Г. Ваградян, Т.Ф. Апозян

Российско-Армянский Университет, DomDanielLTD

vachaganv@yandex.ru, tigran.apozyan@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматриваются некоторые разработки, а также новые подходы и идеи в области семантического анализа предложений естественного языка. Представленные идеи демонстрируются на подязыке естественного языка, по сути, некоторой модели последнего – языке шахматной нотации. В качестве естественного языка в статье представлен восточно-армянский литературный язык.

Ключевые слова: семантический анализ, восточно-армянский литературный язык, смысл предложения.

Введение

Проблема смыслового (семантического) анализа текста все еще остается одной из центральных нерешенных задач искусственного интеллекта.

В данной работе мы пытаемся представить наши разработки, подходы и мысли в указанном направлении искусственного интеллекта.

Основной вопрос звучит философски: «Что есть смысл предложения?»

В предыдущих работах [1, 2] было рассмотрено определение смысла слова «смысл» как «значение» и «цель». В соответствии с этим,

рассмотрим двоякое понимание *смысла предложения* как «*значение предложения*» и «*цель предложения*».

В тех же работах мы представили определение термина «*смысл предложения*» [1, 2]. Напомним это определение.

Определение: Под *смыслом предложения* понимается некий *инвариант* при синонимическом перефразировании предложения [1, 2, 3].

Мы самостоятельно пришли к этому определению, однако позже выяснилось, что такой подход к определению этого понятия ранее дал Мельчук [4].

Что значит и как определить – выявить, этот *инвариант*? И как этот процесс формализовать, описать алгоритмически и реализовать программно? Вот вопросы, на которые мы попытаемся ответить в данной статье.

СМЫСЛ ПРЕДЛОЖЕНИЯ КАК ЗНАЧЕНИЕ

Дадим некоторые определения и примем некоторые постулаты.

Мы принимаем следующее понимание термина «*смысл предложения*»:

Определение: Под *значением предложения* мы понимаем *смысл нулевого уровня предложения, который определяется синтаксическим анализом в контексте семантики.*

В отличие от культивируемого большинством лингвистов (в Армении) мнения о том, что главными членами предложения являются *подлежащее* и *сказуемое* (по крайней мере, так написано во всех учебниках), мы придерживаемся мнения, выраженного следующим постулатом.

Постулат 1: *Главным членом предложения является сказуемое.*

Этот постулат принимают и создатели UNL. Хотя мы и самостоятельно выдвинули этот постулат, однако, справедливости ради, надо сказать, что впервые его опубликовал французский лингвист Л. Теньер [5], ставший основоположником «грамматик зависимостей».

Обоснованием постулата являются следующие рассуждения. В любом простом предложении обязательно присутствует сказуемое в явном, неявном или предполагаемом виде.

Сложные предложения без информационной потери сводимы к последовательности составляющих простых предложений, что мы и реализовали на алгоритмическом и программном уровнях с добавлением при необходимости отсутствующие, семантически предполагаемые подлежащие и даже сказуемые [1, 2].

Пример: Եւ գիւտցի հաւալւիրսն, իկլ նա՛ դարոց:

Это сложное предложение состоит из двух простых. В первом предложении сказуемое присутствует в явном виде («գիւտցի»), а во втором – в неявном. Оно заменено знаком («՛») и должно быть выражено глаголом («գիւտց»).

Сказуемое «է» в неприсутствующем, но в предполагаемом виде можно увидеть в следующих поэтических предложениях. Ուրթունն սեկ թիվ[ն է]: Էջմիածին[ն է]: Շոգամրցում [է] Սրազածի, Սրաշաւի: (Паруйр Севак, «Несмолкаемая колокольня».)

Подлежащее же может присутствовать, может не присутствовать, но предполагаться, а может и не быть вовсе.

Пример: Անհրաժէշտ է գիւլ հաւալւիրսն:

Из приведенного постулата и примеров следует, что в основе любого предложения лежит какое-то действие. Поэтому основную смысловую нагрузку нулевого уровня несет сказуемое предложения. И это наводит на мысль, что инвариантность должна быть связана главным образом с синонимами сказуемого. Синонимы других членов предложения лишь корректируют основной инвариант.

Перейдем к следующему постулату.

Постулат 2: *Инвариантом глагольных синонимов является наиболее абстрактное – обобщенное, представление действия выражаемого данными глаголами.*

Пример: Глаголы «բայել», «մտն գայ», «ճեմել» выражают одно и то же *абстрактное – обобщенное действие* – «пешком не спеша *перемещаться в пространстве*». Каждый из приведенных глаголов имеет свой специфический оттенок, добавляемый к этому инварианту. Абстрагирование от этих оттенков мы называем «абстракцией и, соответственно, *инвариантом первого уровня*».

Для глаголов «վազել», «վազվել» *инвариантом первого уровня* будет «пешком *быстро перемещаться в пространстве*».

Для обеих групп приведенных глаголов *инвариантом второго уровня* будет «пешком *перемещаться в пространстве*», поскольку абстрагируемся от скорости производимого действия. С этих позиций они окажутся эквивалентными.

Если абстрагироваться и от характеристики «пешком», то эквивалентными с приведенными глаголами с позиций максимального абстрагирования – максимальной инвариантности «*перемещаться в пространстве*» станут и глаголы «գրուել», «շրջել», «շրջապել», поскольку эти глаголы выражают действия, производимые безотносительно к способу «*перемещения в пространстве*».

Если в результате синтаксического анализа предложения идентифицированными (решена проблема омонимии – проклятие переводчиков) оказываются все члены предложения, и для каждого из них мы знаем (имеются соответствующие словари) все уровни их инвариантов, то этим завершается выявление смысла предложения нулевого уровня.

Пример: Пусть необходимо записать шахматную партию (по правилам шахматной нотации) со слов комментатора.

По сути, это есть перевод с подъязыка (языка с ограниченной и специфической лексикой – жаргоном) естественного языка, например – армянского, на формальный язык шахматной нотации.

И пусть комментатор сказал следующую фразу: «Երկրորդ բայրում սպիտակների ձին ժե մեկից ցատկեց էֆ երեք դաշտը:»

Тогда синтаксический разбор этого предложения даст следующий результат:

«gшuлѳg» – сказуемое,

«Δh̄u» – подлежащее,

«Ժե սեկից», «էֆ երեք», «ղշշuր» – обстоятельства места,

«Երկրորդ քայլով» – обстоятельство времени,

«սւշիտալների» – дополнение подлежащего.

Инвариантом максимального уровня для глагола «gшuлѳg» является глагол «перемещаться в пространстве». А для него в языке шахматной нотации имеется специальный «термин» – «-».*

«Δh̄u» переводится заглавной буквой 2.

«Երկրորդ քայլով» переводится на язык шахматной нотации числом 2 с точкой.

«սւշիտալների» означает, что имеем дело с полуходом и его записываем сразу после номера хода.

Обстоятельства места «Ժե սեկից», «էֆ երեք» переводятся строчными латинскими буквами и арабскими цифрами – g1 и f3, соответственно. Слово «ղշշuր» не переводится.

Таким образом, получаем 2. 2g1-f3

СМЫСЛ ПРЕДЛОЖЕНИЯ КАК ЦЕЛЬ

Поставим теперь другую, в каком-то смысле, обратную задачу. Пусть имеем некую нотацию шахматной партии, и необходимо прочитать и понять смысл этой нотации как текста.

Зададимся вопросом: *«Достаточен ли результат синтаксического анализа для понимания смысла полухода с точки зрения шахматной игры?»*

Ответ очевиден – *нет!* Нет, потому что шахматная нотация является символьно-словесным описанием событий, происходящих на

* Могли быть любые другие глаголы, имеющие глагол «перемещаться в пространстве» в качестве инварианта максимального уровня: «քայլեց», «դիմեց», «սեղանի վրայ», «գնաց», и т.д.

шахматной доске. И для читателя шахматной нотации не менее (а скорее всего, намного более) важен ответ на вопрос: «С какой целью именно на этом ходу Конь с поля g1 был переставлен на поле f3?», чем сам факт констатации данного полухода. В ответе на этот вопрос и заключается истинный смысл – цель действия описанного данным шахматным предложением (=полуходом). Ответ на этот вопрос не просто сильно зависит от конкретной позиции, в которой был сделан данный полуход, а определяется *смыслом позиции* и направлен на осуществление этой цели (=смысла позиции). Формальное определение этого термина введено нами в предыдущих работах [2, 3]. Интуитивно смысл позиции – это возможность извлечь максимальную выгоду из данной позиции. Формально – это получение новой позиции с максимальной оценкой.

В случае анализа шахматной нотации можно эффективно ввести понятия *смысл первого, второго* и т.д. *уровней* в соответствии с глубиной анализа позиции в один, два и т.д. ходов.

Для выявления смыслов полухода ненулевого уровня необходимо оперировать неязыковыми экспертными шахматными знаниями. Иначе говоря, необходимо иметь – разработать, базу шахматных экспертных знаний, представленных так, как их воспринимает и ими оперирует человек-шахматист.

Тот же принцип стремления к извлечению каждым персонажем описываемых событий максимально возможной выгоды для себя в создавшейся ситуации посредством локальных действий для достижения последовательности локальных целей заложен в основу понимания и извлечения смыслов ненулевого уровня предложения в тексте на естественном языке. Вопрос в том, как формально описать и дать оценку различным жизненным ситуациям и действиям персонажей.

Нами разработаны соответствующие подходы, алгоритмы и технологии, раскрыть которые мы пока не можем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваградян В.Г. Определение смысла слова, предложения и текста (На примере восточно-армянского литературного языка) Девятая Го-

- дичная научная конференция (3–8 декабря 2014г.) Сборник научных статей: Физико-математические и естественные науки. Ер.: Изд-во РАУ, 2015. СС. 68–77.
2. *Vahradyan V., Apozyan T.* On Meanings of Words, Sentences and Texts Interpreted for Chess and Literary Eastern Armenian., 10th International Conference on Computer Science and Information Technologies CSIT 2015 September 28 – October 2, Yerevan, Armenia. PP. 150 –153.
 3. *Vahradyan V.* A Model of a High Level Chess Concept “Beautiful Mate”, <http://www.computer.org/csdl/proceedings/csit/2013/2460/00/06710348.pdf>.
 4. *Теньер Л.* Основы структурного синтаксиса. М.: Прогресс, 1988. 656 с.
 5. *Мельчук И.А.* Опыт теории лингвистических моделей «Смысл ↔ Текст» Семантика, синтаксис. М.: Школа «Языки русской культуры», 1999. 346 с.

THE PROBLEMS OF SEMANTIC ANALYSIS OF A SENTENCE (Applied to the Eastern Armenian literary language)

V. Vahradyan, T. Apozyan

Russian-Armenian University, Dom Daniel LTD

vachaganv@yandex.ru, tigran.apozyan@yandex.ru

ABSTRACT

This paper examines some of the development, as well as new approaches and ideas in the field of semantic analysis of natural language sentences. The presented ideas are demonstrated on sublanguage of the natural language, in fact, a model of the latter – the language of chess notation. As a natural language in the article is present the Eastern Armenian literary language.

Keywords: semantic analysis, literary Eastern Armenian language, the meaning of the sentence.

ՆԱԽԱԴԱՍՈՒԹՅԱՆ ԻՄԱՍՏԱՅԻՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ
ՀԻՄՆԱԽՆԴԻՐՆԵՐ
(Արևելահայերեն գրական լեզվի օրինակով)

Վ. Գ. Վահրադյան, Տ.Ֆ. Ապոզյան

Հայ-Ռուսական համալսարան, Dom Daniel LTD

vachaganv@yandex.ru, tigran.apozyan@yandex.ru

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Այս աշխատանքում դիտարկվում են բնական լեզվի իմաստային վերլուծության ոլորտում որոշ մշակումներ, ինչպես նաև նոր մոտեցումներ և գաղափարներ: Քննարկվող գաղափարները ներկայացվում են բնական լեզվի մի ենթալեզվի օրինակով, ըստ էության, վերջինս մի մոդելի՝ շախմատային գրառման լեզվով: Որպես բնական լեզու հողվածում ներկայացված է արևելահայերեն գրական լեզուն:

Հիմնաբառեր՝ իմաստային վերլուծություն, արևելահայերեն գրական լեզու, նախադասության իմաստ:

ПОСТРОЕНИЕ ФРАКТАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ L-СИСТЕМ

А.А. Мелконян

Российско-Армянский университет

mustasilma@hotmail.com

АННОТАЦИЯ

Фракталы и фрактальные алгоритмы широко применяются для решения достаточно широкого спектра прикладных задач – от хаотических свойств нелинейных динамических систем до геофизики и медицины. Отдельное место занимает применение фрактальных алгоритмов в компьютерной графике.

Ключевые слова: фрактал, фрактальные алгоритмы, компьютерная графика

Введение

Термин «фрактал» был введен в 1975 году Бенуа Мандельбротом [1], хотя, справедливости ради, следует отметить, что многие базовые идеи фрактальной геометрии оформились задолго до этого времени, благодаря работам Кантора, Пеано и других. Помимо очевидной математической красоты, фракталы играют весомую роль при исследовании хаотичности нелинейных динамических систем, а также для решения многих задач естествознания [2–4].

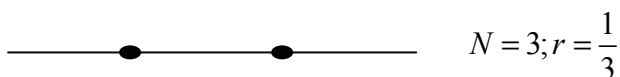
Одним из первых практических применений фрактальных алгоритмов стало использование их в компьютерной графике для сжатия изображений. При достаточно высоком визуальном качестве изображения иногда удается получить сжатие с коэффициентом до 1000 раз. Правда скорость работы подобных архиваторов достаточно медленная, и основные работы сейчас ведутся именно в направлении ускорения

этого процесса. Широкое применение фрактальных алгоритмов можно найти в медицине, геологии, геофизике и т.д.

Бегло рассмотрим основополагающие понятия теории фракталов на примере классического фрактала – Снежинка Коха. Далее проиллюстрируем применение L -систем для построения этого же фрактала.

Фрактальная размерность.

Рассмотрим отрезок единичной длины. Разобьем его на N равные подобъекты. Очевидно, что каждую часть можно считать копией всего отрезка, уменьшенного в $\frac{1}{r}$ раз.



Очевидно, что N и r связаны соотношением $Nr = 1$.

Аналогичным образом, если разбить квадрат на N равные квадраты с площадью в $\frac{1}{r^2}$ раз меньше исходной, то соотношение примет вид: $Nr^2 = 1$.

Для куба – $Nr^3 = 1$. В общем случае соотношение запишем как:

$$Nr^d = 1, \tag{1}$$

где d – размерность объекта.

Для множеств, перечисленных выше, значение d принимает целое значение. Построив объект, для которого при разбиении на N непересекающихся подмножества, полученные масштабированием оригинала с коэффициентом r значение размерности d уже не будет целым числом, то мы получим самоподобный фрактал. Параметр d в данном случае называется «фрактальной размерностью». Это понятие впервые было введено в 1919 году Хаусдорфом. Для получения явной формулы для d прологарифмируем (по любому основанию) обе части формулы (1):

$$d = \frac{\log N}{\log \frac{1}{r}} \tag{2}$$

Отметим, что для более сложных типов фракталов, например, для квазифракталов, подобная формула не применима, так как коэффициенты подобия не одинаковы для всех подмножеств [5]. Например, при моделировании береговой линии Великобритании, Мандельброт вводил в модель – фрактальную кривую – элемент случайности, учитывающей случайности в природе.

Снежинка Коха.

Данный фрактал строится по следующему алгоритму.

Шаг 1. Каждую сторону единичного треугольника обозначим K_0 :

Шаг 2.

- Сторона делится на три части;
- Средняя часть удаляется, и на ее месте рисуются два новых отрезка. Длины новых отрезков равны длинам оставшихся частей

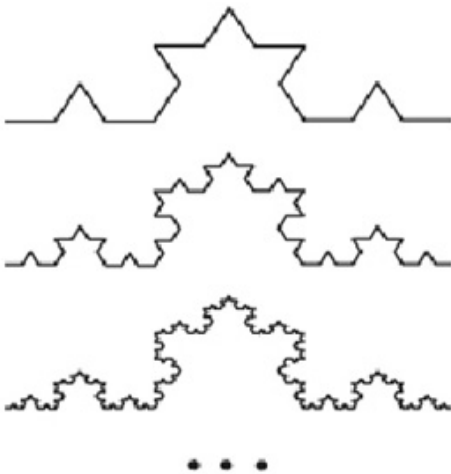


Рис. 1

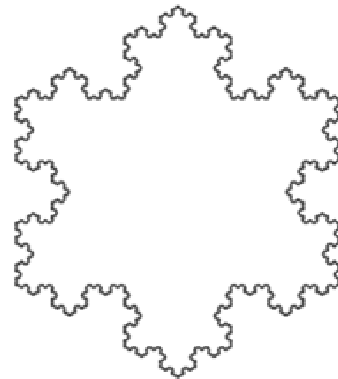


Рис. 2

Обозначим полученную кривую K_1 (Рис.1). Продолжив итерации, на N -ом шаге получим кривую K_N (Рис.2).

Иными словами, снежинка, придуманная Кохом в 1904 году, описывается кривой, составленной из трех фракталов.

Посчитаем размерность фрактала и оценим длину граничной линии. Если взять копию K , уменьшенную в три раза, то все множество K можно будет составить из 4 таких копий.

Иными словами, $r = \frac{1}{3}$; $N = 4$. Используя формулу (2), получим, что $d \approx 1,2618$.

Докажем следующее **утверждение**.

Граница Снежинки Коха имеет бесконечную длину.

Доказательство. Достаточно показать, что каждый из трех идентичных фракталов K , полученных итерациями, имеет бесконечную длину. Действительно, пусть исходный отрезок имеет единичную длину, тогда на второй итерации длина кривой будет $4/3$. На N -ом шаге длина кривой будет $\frac{4^N}{3^N}$, чей предел с очевидностью равен бесконечности:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{4^N}{3^N} = \infty.$$

***L*-системы.**

С помощью L -систем, изначально введенных при рассмотрении формальных языков, можно строить многие самоподобные фракталы, а также моделировать безмерное количество новых [6]. Именно в этом и кроется причина широкого применения L -систем в компьютерной графике [7].

В контексте нашей задачи рассмотрим детерминированную L -систему. Она состоит из алфавита, слова инициализации (аксиома или инициатор), а также набора порождающих правил, показывающих, как следует преобразовывать слово при переходе на новый уровень.

Рассмотрим L -систему, соответствующую фракталу «Снежинка Коха»:

$$\theta = 60^\circ$$

Аксиома: $F ++F ++F$

Порождающее правило: $newf = F - F ++F - F$

Аксиома $F ++F ++F$ графически представляет собой правильный треугольник:

После первого шага угол увеличивается на $60^\circ + 60^\circ$, затем делается шаг прямо, затем угол движения вновь меняется на 120° и делается последний шаг вперед.

Согласно правилу *newf*, каждая буква в слове-инициаторе меняется на $F - F ++F - F$, т.е. для получения кривой K_1 :

$$F - F ++F - F ++F - F ++F - F ++F - F ++F - F$$

Для кривой K_2 :

$$F - F ++F - F - F - F ++F - F ++F - F ++F - F - F - F ++F - F ++$$

$$F - F ++F - F - F - F ++F - F ++F - F ++F - F - F - F ++F - F ++$$

$$F - F ++F - F - F - F ++F - F ++F - F ++F - F - F - F ++F - F$$

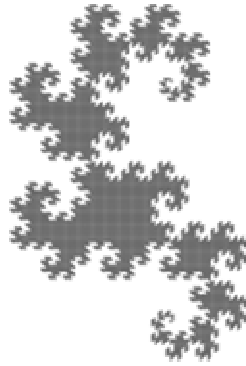


Рис. 3

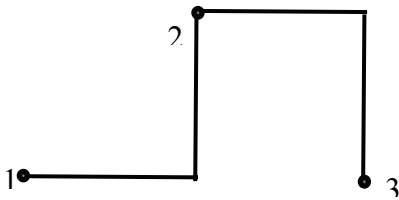


Рис. 4.1.

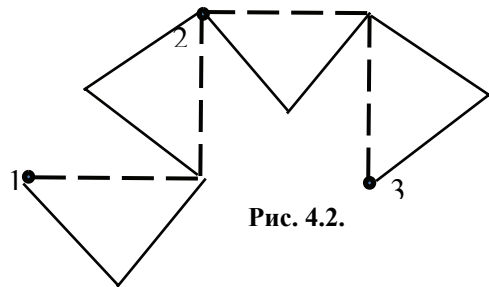


Рис. 4.2.

Отметим, что при построении фракталов при помощи одного порождающего правила нет возможности изменять направление чтения, правил в некоторых шагах, а без этого невозможно построить, напри-

мер, известный фрактал «Дракон» (Рис.3). В данном случае необходимо нарисовать инициатор сначала в прямом (Рис. 4.1), а затем в обратном (Рис. 4.2) направлениях [8].

Заключение

С развитием компьютерных технологий видится все более широкое и интенсивное применение фрактальных алгоритмов. Спектр применения данных алгоритмов широк – от различных спецэффектов и визуализаций в компьютерной графике (компьютерные игры) – до сложных превентивных тестов в онкологии [9]. Безусловно, перечень задач, в которых будут в дальнейшем использоваться фракталы будет только увеличиваться.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мандельброт Б.Б.* Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002, 656 с.
2. *Кроновер Р.* Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. М.: Постмаркет, 2000, 353 с.
3. *Пригожин И., Стенгерс И.* Время, хаос, квант. К решению парадокса времени. М.: Едиториал УРСС, 2003, 240 с.
4. *Шустер Г.* Детерминированный хаос. М.: Изд-во «Мир», 1988, 253 с.
5. Эл. источник: <http://www.hintfox.com/article/geometricheskie-fraktali-i-ih-svojstva.html>.
6. Эл. источник:
<http://director-online.dasdeck.com/buildArticle.php?id=1119>.
7. *Демин А.* Основы компьютерной графики. Томск: Изд-во Томского политехнического у-та. 2011. 191 с.
8. Эл. источник: <http://grafika.me/node/85>.
9. Эл. источник: <http://m-rush.ru/theory/item/184-fraktaly-na-praktyke.html>.

CONSTRUCTION OF FRACTALS USING L-SYSTEMS

A. Melkonyan

Russian-Armenian University

mustasilma@hotmail.com

ABSTRACT

Fractals and fractal algorithms are widely used to solve a number of applied problems: from chaotic properties of non-linear dynamical systems up to geophysics and medicine. More, fractals plays a special role in many aspects of computer graphics as well.

Keywords: fractals, fractal algorithms, computer graphics.

ՖՐԱԿՏԱԼՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՈՒՄԸ L-ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՕԳՆՈՒԹՅԱՄԲ

Ա Ա Մելքոնյան

Հայ-Ռուսական համալսարան

mustasilma@hotmail.com

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Ֆրակտալները և ֆրակտալային ընթացակարգերը լայն կիրառվում են մի շարք խնդիրների լուծման համար՝ սկսած ոչ գծային դինամիկական համակարգերի քառտիկ հատկությունների ուսումնասիրումից մինչ բժշկություն և երկրաֆիզիկա: Առանձնահատուկ տեղ ֆրակտալային ընթացակարգերը զբաղեցնում են համակարգչային գրաֆիկայում:

Հիմնաբառեր՝ ֆրակտալներ, ֆրակտալային ընթացակարգեր, համակարգչային գրաֆիկա:

ОБНАРУЖЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В АППАРАТНО- ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ

С.Х. Нахатакян, А.В. Гаспарян, Г.Р. Сардарян

*Российско-Армянский университет
Ереванский Государственный Университет*

nax_satik@rambler.ru, hgasparyan@ysu.am, gagik@ysu.am

АННОТАЦИЯ

В данной статье предлагаются методы диагностики, обнаружения неисправностей и прогнозирования отказов, а также программные реализации алгоритмов и моделей автоматизированных систем, которые могут быть использованы для целей диагностики и теледиагностики – как в различных объектах массового обслуживания, а также в информационно-телекоммуникационных технологиях. Суть одного из методов заключается в получении вектора неисправности и векторов ошибок из матриц связности. Разработан алгоритм, реализующий этот расчетный аппарат, метод позволяет обнаруживать и локализовывать неисправности или программные ошибки в так называемом режиме «горячего диагностирования».

Ключевые слова: безопасность аппаратно-программных комплексов, диагностика машин, обнаружение неисправности, ремонтпригодность.

Современная гибкая, масштабированная, многофункциональная система управления сетью предполагает существенное упрощение и, соответственно, удешевление процесса администрирования сети. Для этого основной задачей, которую необходимо решить при разработке аппаратно-программных комплексов для объектов специального назначения, является выполнение оценки уязвимостей безопасности, т.е. сделать внутренний аудит системы и ее объектов. Результаты этой оценки покажут уровень конфиденциальности, целостности и доступности се-

ти. Обычно оценка уязвимостей начинается с разведки, во время которой собираются важные сведения о целевых системах и ресурсах. После нее начинается проверка готовности систем, когда каждый объект проверяется на все известные уязвимости. С целью оценки состояния технической и программной защиты информации, которая обрабатывается или циркулирует в автоматизированных системах, компьютерных сетях, системах связи и подготовки обоснованных выводов для принятия соответствующих решений проводится экспертиза в сфере технической и программной защиты информации. Основной стадией этой работы становится этап создания отчета, когда все найденные факты собираются по категориям риска: высокий, средний и низкий; и обсуждаются способы улучшения защиты (или уменьшения риска уязвимости).

На основе существующих средств и мероприятий в данной статье предлагаются следующие решения:

1. построение комплексных систем защиты информации аппаратно-программных комплексов;
2. разработка политики безопасности организации;
3. содействие в организации экспертиз по ТЗИ (технической защите информации);
4. интеграция оборудования и программного обеспечения технической защиты информации в существующую информационную систему организации;
5. создание систем защиты периметра (комплекс средств и мероприятий, предназначенных для предотвращения несанкционированного проникновения на территорию объекта нарушителя);
6. разработка математической модели доставки многопакетных сообщений с подтверждением достоверности (достоверность результатов подтверждается корректностью и логической обоснованностью с использованием математического аппарата) [1, 2].
7. разработка программного обеспечения с интегрированными функциями защиты информации, контроля, обнаружения и локализации неисправностей в аппаратных и программных средствах в объектах аппаратно-программных комплексов [3, 4, 5].

К сожалению, в рамках статьи невозможно раскрыть методы и алгоритмы вышеперечисленных решений по всем пунктам, которые требуют серьезных разработок и математических обоснований для создания комплекса программ автоматизированной защиты объектов. Но следует знать, что каждое из семи предложенных действий – это комплекс программных решений. Обоснованием этого служат созданные в ЕрНИИММ объекты и сети [6, 7], работающие до сих пор на постсоветском пространстве, там, где по сей день сохранили эти уникальные разработки.

В настоящей статье представляется решение одной из задач 7-го пункта вышеобозначенного списка – это контроль обнаружение и локализация неисправностей в аппаратных и программных средствах объектов.

Для разработки диагностического комплекса программ авторы доработали существующие методы, а также разработали новые методы расчетов по исследованию структур объектов и их метаматематических моделей с целью диагностики, обнаружения неисправностей, программных ошибок и прогнозирования отказов и ошибок в объектах, на основе чего были разработаны автоматизированные программные средства, реализующие надежную работу объектов.

Методы диагностики, обнаружения неисправностей и прогнозирования отказов [8, 9], а также программные реализации алгоритмов и моделей автоматизированных систем могут быть использованы для целей диагностики и теледиагностики как в различных объектах массового обслуживания, так и в авиации, космических и транспортных объектах, а также в информационно-телекоммуникационных технологиях. Разработанные методы создания диагностических автоматизированных систем основываются на идеях, близких к теме: «Теории структурного диагноза машин».

Суть одного из методов заключается в получении вектора неисправности и векторов ошибок из матриц связности. Разработан алгоритм, реализующий этот расчетный аппарат, метод позволяет сэкономить время, финансовые и трудовые ресурсы для обнаружения и локализации неисправности или программной ошибки в так называемом режиме «горячего диагностирования» (следует отметить, что многократные неисправности или программные ошибки рассматриваются как наложение однократных, и их локализация производится последовательно).

Дальнейшее развитие предложенных методов заключается в совершенствовании алгоритма прогнозирования отказов на основе статистики сбоев и использования разработанного метода нахождения тестовых точек для коррекции схем или структур комплексов программных модулей в процессе их создания с целью конструирования не только ремонтпригодной и диагностируемой электронной аппаратуры, но и подлежащего конкретной отладке программного обеспечения (ПО) всего программно-аппаратного комплекса. Эти направления могут быть развиты как в схемах с микропрограммным управлением и диагностикой, так и в схемах с аппаратным контролем и управлением, а также в программных комплексах с внедренными тестовыми точками. Особенно эффективно сочетание аппаратного, микропрограммного и программного диагностирования. Предполагается развитие исследования в выборе оптимального метода такого сочетания. Эти исследования основаны на математической базе разрабатываемых и дорабатываемых в настоящее время, а также внедренных методах.

Для демонстрации работы комплекса программ-обнаружения и диагностики неисправностей и ошибок в программных модулях разработана демонстрационная программа на основе следующих методов – это:

- расчетный аппарат, позволяющий еще в процессе разработки схем и структур программных модулей определить глубину обнаружения и диагностирования неисправности или программной ошибки и на основе этого корректировать схему или структуру программного комплекса и его модулей;
- безтестовой метод локализации неисправности, основанный на аппаратном контроле, использующий также новый матричный метод представления структуры технического устройства или комплекса программ с привязкой к аппаратному контролю, а для программных комплексов к контрольным точкам (тестовым точкам), встроенных в программные модули.
- исследование методов прогнозирования отказов и дистанционного диагностирования неисправностей, а также разработка соответствующих программных систем.

Разработаны:

1. метод графоаналитического структурного анализа диагностируемых технических и программных средств;
2. метод расчета оценки структур технических средств по глубине диагностирования;
3. метод матричного представления структуры технического средства (Типовой элемент замены – ТЭЗ, схемы, микросхемы, интегральные схемы и т.д., а также структуры комплекса программных модулей) с привязкой как к аппаратному контролю, так и к контрольным точкам программных модулей для графического анализа соответствующих структур;
4. выведены формулы структурного анализа для технических средств с микропрограммным управлением;
5. разработан алгоритм прогнозирования отказов, основанный на графоаналитическом методе без тестового автоматизированного диагностирования;
6. разработан метод автоматизированного диагностирования технических средств, основанный на результатах аппаратного контроля и тестовых точек программных модулей.

Преимущества

По известным публикациям и результатам наших исследований аналоги по данным методам не найдены.

Ниже приводится демонстрационная модель в виде графа и его состояния после запуска программы, дающей практический результат по локализации отказов. Описания по созданным трактам обмена данными и СУБД в силу объемности здесь не приводятся.

В представленной статье демонстрируется лишь локализация неисправности без раскрытия аналитических принципов работы программы и методов.

Графическая модель схемы используется в целях определения возможностей и оценки диагностической программы, которая предназначена для локализации однократной неисправности с точностью до заменяемого элемента (микросхемы, платы, типового элемента замены). Многократные неисправности рассматриваются как наложение однократных неисправностей, которые последовательно локализуются программой.

Вершины графа (см. Рис.1, Рис.2, Рис.3) – это схемные узлы или микросхемы (любые виды элементов замены), которые обозначены квадратами.

На Рис.4. представлена таблица отношений (смежности) графа, которая необходима для программного анализа исследуемой структуры объекта. Здесь столбцы матрицы – это входы представленных квадратами элементов, а строки матрицы – это их выходы. Следует отметить, что элементы и дуги графов на рисунках – цветные, к сожалению, в черно-белом исполнении невозможно видеть, как окрашиваются красным элементы охваченные неисправностью, которые блокируются контрольными, окрашиваемыми в этот момент розовым цветом.

Блокирование неисправности может не производиться, так как метод структурного анализа, который используется в программе, не чувствителен к этому факту. Это достаточно важный аргумент в пользу программы, так как при таком подходе уменьшается количество требований к разрабатываемой схеме с точки зрения диагностики и увеличения ее ремонтпригодности.

В демонстрационной схеме (элементы 1, 2, 5, 6, 10, 11, 12, 13 – синие квадратики) блокирование (контрольщики 3, 4, 7, 8, 9 – зеленые квадратики) производится для лучшего визуального представления распространения неисправности. На Рис.1. представлен граф в начальном состоянии, т.е. без неисправностей, на Рис.2. неисправность внесена в элемент № 11, показана блокировка этой неисправности датчиками (контрольщиками) с номерами 3, 4, 9 и показано распространение неисправности на элементы с номерами 12, 13, 5 и 6. На Рис.3. показана неисправность, введенная в элемент 5, и здесь картина меняется, неисправность распространяется только на элемент № 6, но блокируется теми же контрольщиками 3, 4, 9, как и в случае неисправности элемента №11.

Внизу, под графом (см. Рис. 1) расположены 3 кнопки: START – для запуска программы; RESET – для сброса в первоначальное состояние; EXIT – для закрытия окна. Ниже, под кнопками расположены два сообщения: “Insert the fault and press START”, то есть следует ввести неисправность в какой-либо из элементов, обозначенных квадратами. После этого на экране должно появиться сообщение “The fault is in the element № q”, где q – номер неисправного элемента (источника

неисправности), ниже, в сообщении, расположена кнопка «ОК», на которую следует нажать для продолжения проверок. В зависимости от взаимосвязей элементов (как будет показано) глубина локализации может оказаться более одного элемента (при оптимальной разработке и разбивке схемы на контуры, а также установке контрольников глубина локализации может быть увеличена – это может быть достигнуто методами структурного анализа).

Для того чтобы убедиться в достоверности результата номера неисправного элемента в сообщении следует сравнить с номером элемента, в который была введена (имитирована) неисправность однократным нажатием левой клавиши мыши на синий квадратик.

Для полного представления работы диагностической программы в нее следует ввести описания конкретных схем заказчика и подключать ее при возникновении неисправности: по запросам (директивам) оператора; автоматически – по фактам событий возникающих неисправностей. Если какая-либо структура (модель) может быть аналитически описана и введена в программу, то для локализации ее отказов можно применить представленную выше диагностическую программу. Таким образом, данная диагностическая программа может быть использована не только при отказах в электронных схемах, но и в любой другой структуре, в частности механической (например, мотор автомобиля), в которую могут устанавливаться датчики (контрольники) с регистром ошибок, предназначенного для хранения информации об отказах. Такую структуру можно представить в виде графа, и применить все те методы, которые используются для локализации неисправностей в электрических схемах. Использование вышеописанных работ предполагается, в частности, для некоторых отраслей промышленности таких, как: электронная, машиностроительная, автомобильная и др. областей, например, экономики и науки. Предложенные в настоящей статье мероприятия, практические рекомендации и разъяснения авторов, которым приходилось практически решать вышеописанные задачи – это попытка собрать воедино и классифицировать, а также последовательно изложить необходимые меры защиты и безопасности в комплексе как программных, так и аппаратных разработок.

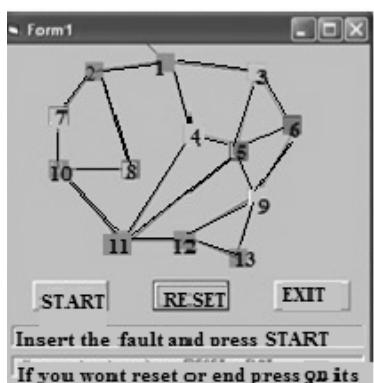


Рис. 1 .

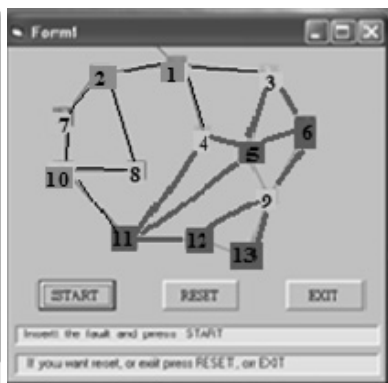


Рис. 2.

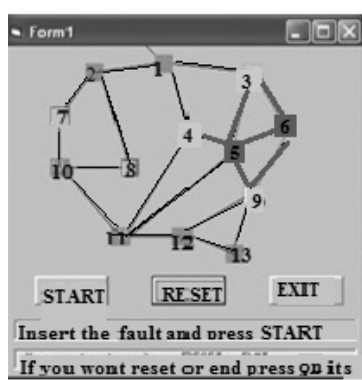


Рис. 3.

Статья полезна для специалистов, работающих в области защиты информации объектов специального назначения как небольших корпоративных сетей, а также таких крупных разработок, как объектов аппаратно-программных комплексов реального времени. Статья предназначена студентам, изучающим сети и построение сетевых трактов, и методов информационной безопасности, а также защиту информации комплексом программ прогноза обнаружения и локализации неисправностей, и контроля достоверности информации автоматизированными методами (как программными, так и аппаратными средствами).

	7	8	4	3	9	1	2	5	6	10	11	12	13
7										1			
8													
4													
3													
9													
1			1	1			1						
2	1	1											
5			1	1	1				1				
6				1	1								
10		1									1		
11			1				1					1	
12					1								1
13					1								

Рис. 4. Таблица смежности для Рис. 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цимбал В.А., Косарева Л.Н., Исаева Т.А. Математическая модель процесса обработки многопакетных сообщений в узле коммутации сети передачи данных с многомерными виртуальными маршрутами. Труды VIII Российской НТК. Калуга: КНИИ ТМУ, 2009.
2. Штефан В.И. Модель пакетной радиосети. Информация и космос №1, 2001.
3. Нахатакян С.Х. Об одном методе диагностирования специального вычислительного комплекса М.: Вопросы специальной радиоэлектроники, вып. 15, 1979.
4. Нахатакян С.Х. Метод построения диагностических тестов для дублированных ЦВМ М.: Вопросы специальной радиоэлектроники, вып. 15, 1979.
5. Атоян Р.В., Будагян Э.С., Арутюнян Э.С., Нахатакян С.Х. Система резервированных ЦВМ, Авторское свидетельство 06 15/16 св. № 168752. Гос. Ком. Изобретений, 1980.

6. Арутюнян Г.А., Татинцян Ж.Г., Нахатакян С.Х. Организация автодиагноза в многопроцессорной системе. Тезисы докладов, школа-семинар, Цахкадзор, АРМ. ССР, 1985
7. Атоян Р.В., Арутюнян Г.А., Нахатакян С.Х. Многоуровневое автоматизированное диагностирование технических средств. М.: Вопросы специальной радиоэлектроники, вып. 3, 1989.
8. Чжен Г., Меннинг Е., Метц Г. Диагностика отказов цифровых вычислительных систем. М.: Мир, 1977.
9. Казаков В.А. Введение в теорию марковских процессов и некоторые радиотехнические задачи М.: Сов.радио, 1973.

DETECTION AND LOCALIZATIONS OF MALFUNCTION AND ERRORS IN ELECTRONIC AND PROGRAM COMPLEXES

S. Nahatakyan, A. Gasparyan, G. Sardaryan

*Russian-Armenian University
Yerevan State University*

nax_satik@rambler.ru, hgasparyan@ysu.am, gagik@ysu.am

ABSTRACT

In article methods of diagnostics, detection are offered malfunctions and forecasting of refusals, and also program realizations' of algorithms and models of automated systems, which can be used for diagnostics and tele diagnostics, as in various objects of mass service, and also in information-telecommunication technologies. The essence of one of methods consists in vector reception malfunction and vectors of errors from matrixes of connectivity, the algorithm realizing this settlement device is developed, the method allows to find out and localize malfunctions or program errors in, so-called, a mode "Hot diagnosing".

Keywords: safety of hardware-software complexes, diagnostics of cars, failure detection, mathematical models, maintainability.

ԱՊԱՐԱՏԱ-ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ԿՈՄՊԼԵՔՍՆԵՐՈՒՄ
ԱՆՃՇՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՈՒՄ ԵՎ ՏԵՂԱՅՆԱՑՈՒՄ

Ս.Խ. Նահատակյան, Հ.Վ. Գասպարյան, Գ.Ռ. Սարգսյան

*Հայ-Ռուսական համալսարան
Երևանի պետական համալսարան*

nax_satik@rambler.ru, hgasparyan@ysu.am, gagik@ysu.am

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Հոդվածում ներկայացվում է դիագնոստիկայի, սխալների հայտնաբերման և խափանումների կանխատեսման մեթոդներ, ինչպես նաև ալգորիթմների ծրագրային իրականացման և ավտոմատ համակարգերի մոդելներ, որոնք կարող են օգտագործվել դիագնոստիկայի և տելեդիագնոստիկայի նպատակներով տարբեր մասայական սպասարկման օբյեկտներում կամ տեղեկատվական և հեռահաղորդակցության տեխնոլոգիաներում: Մեթոդներից մեկը կապերի մատրիցայից ստանում է սխալների և անճշտությունների վեկտորները: Մշակվել է այդ հաշվարկման միջոցի իրականացման այգորիթմ: Մեթոդը թույլ է տալիս հայտնաբերել և տեղայնացնել անճշտությունները կամ ծրագրային սխալները «տաք դիագնոստիկայի» ռեժիմում:

Հիմնաբառեր՝ ապարատա-ծրագրային կոմպլեքսների անվտանգություն, մեքենաների դիագնոստիկա, անճշտությունների հայտնաբերում, վերանորոգում:

ОБ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

А.С. Овакимян, С.Г. Саркисян, В.И. Шевченко

*Российско-Армянский университет
Ереванский государственный университет
Севастопольский государственный университет*

ahovakimyan@ysu.am, siranushs@ysu.am, shechenko-vika@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В данной статье предлагается методика проектирования экспертных систем, в основу которой положен способ автоматизированной генерации экспертных знаний. Экспертные знания в виде ассоциативных правил извлекаются из накопленных в результате наблюдений больших объемов данных. При этом, используются подходы нечеткой логики и лингвистической модели принятия решений.

Ключевые слова: экспертная система, экспертные знания, нечеткие ассоциативные правила.

Причиной повышенного интереса, который экспертные системы вызывают к себе на протяжении всего своего существования, является возможность их применения к решению задач из самых различных областей человеческой деятельности [1,2].

Экспертная система представляет собой программное обеспечение, которое выполняет функции эксперта при решении какой-либо задачи в области его компетенции. Она основана на вводе знаний высококвалифицированных специалистов (экспертов) в вычислительную систему и разработке специальной системы по их использованию.

Экспертная система, как и эксперт-человек, в процессе своей работы оперирует со знаниями. Знания о предметной области, необходимые для работы экспертных систем, определенным образом формализо-

ваны и представлены в памяти ЭВМ в виде базы знаний, которая может изменяться и дополняться в процессе развития системы.

Экспертные системы выдают советы, проводят анализ, выполняют классификацию, дают консультации, ставят диагноз. Они ориентированы на решение задач, обычно требующих проведения экспертизы человеком-специалистом.

Экспертные системы решают задачи в узкой предметной области на основе дедуктивных рассуждений. Такие системы часто оказываются способными найти решение задач, которые неструктурированы и плохо определены. Они справляются с отсутствием структурированности путем привлечения эвристик, что может быть полезным в тех системах, когда недостаток необходимых знаний или времени исключает возможность проведения полного анализа.

Применение экспертных систем в разных предметных областях позволяет сократить время принятия решений, способствует росту эффективности работы и повышению квалификации специалистов.

Главное достоинство экспертных систем – это возможность накапливать знания, сохранять их длительное время, использовать, обновлять и, тем самым, обеспечивать относительную независимость конкретной организации от наличия в ней квалифицированных специалистов.

Необходимость разработки и внедрения экспертных систем обусловлена такими факторами, как нехватка специалистов, потребность в многочисленном коллективе специалистов, сниженная производительность, поскольку решаемая задача требует полного анализа сложного набора условий, а обычный специалист не в состоянии просмотреть за отведенное ему время все эти условия, большое расхождение между решениями разных исполнителей, наличие конкурентов, имеющих преимущество в том, что они лучше справляются с поставленной задачей.

Различают несколько типов экспертных систем.

Статические экспертные системы разрабатываются в предметных областях, в которых база знаний и интерпретируемые данные стабильны и не меняются во времени. Например, в задаче диагностики неисправностей в автомобиле.

Квазидинамические экспертные системы интерпретируют ситуацию, которая меняется с некоторым фиксированным интервалом времени. Например, микробиологические экспертные системы, требующие результатов лабораторных измерений, получаемых через определенный промежуток времени.

Динамические экспертные системы работают в сопряжении с датчиками исследуемых объектов в режиме реального времени и обеспечивают непрерывную интерпретацию поступаемых данных. Например, системы мониторинга в реанимационных палатах.

Экспертная система работает в двух режимах: приобретения знаний и решения задач. В режиме приобретения знаний система настраивается на конкретную предметную область: формируется база знаний и механизм логического вывода. В режиме решения задач в общении с экспертной системой участвует конечный пользователь, которого интересует результат решения задачи и способ его получения. Применение механизма вывода к данным, задаваемым пользователем, дает решение требуемой задачи [2, 3].

При разработке экспертной системы необходимо достаточно полно и правильно охарактеризовать проблемную область, построить базу знаний и дедуктивную систему рассуждений. В этой разработке должны принимать участие разные специалисты. Знания о предметной области получают от экспертов. Инженер по знаниям помогает эксперту выявить и структурировать знания, необходимые для работы экспертной системы, определяет способ представления знаний. Программист разрабатывает инструментарий, поддерживающий компоненты экспертной системы, осуществляет сопряжение экспертной системы с той средой, в которой она будет использована.

Процесс разработки экспертной системы довольно трудоемок, особенно по части нахождения высококвалифицированных экспертов. Накопление больших объемов данных в современных условиях и наличие в данных определенных закономерностей может сделать вполне реальным извлечение как экспертных знаний, так и дедуктивных правил вывода из самих данных.

В данной работе предлагается методика проектирования экспертных систем, в основу которой положен способ автоматизированной ге-

нерации экспертных знаний. Экспертные знания извлекаются из накопленных в результате наблюдений больших объемов данных в виде ассоциативных правил. При этом, используются подходы нечеткой логики и лингвистической модели принятия решений.

Режим приобретения экспертной системой экспертных знаний реализуется путем построения ассоциативных правил с использованием имеющихся фактов о предметной области.

Задача вывода классических двоичных ассоциативных правил на основе имеющейся базы данных формулируется следующим образом.

Пусть $I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$ является множеством признаков, $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ представляет собой множество кортежей из значений признаков из множества I , а значениями признаков i_1, i_2, \dots, i_m являются нуль или единица.

Ассоциативным правилом называется выражение вида:

$$X \rightarrow Y,$$

где $X \subset I$, $Y \subset I$ и $X \cap Y = \emptyset$.

Говорят, что правило $X \rightarrow Y$ поддерживается кортежем $t \in T$, если в случае, когда все значения признаков из множества X равны единице, значения всех признаков из множества Y также равны единице.

Ассоциативные правила принято оценивать такими качественными характеристиками как поддержка и достоверность.

Поддержкой правила $X \rightarrow Y$ является процент кортежей из множества T , поддерживающих данное правило. Поддержка правила представляется формулой

$$\text{supp}(X \rightarrow Y) = \frac{|X \cap Y|}{n},$$

где $|X \cap Y|$ – это количество кортежей, поддерживающих правило, – общее число кортежей.

Достоверность правила описывает процент кортежей, содержащих X , которые также содержат Y :

$$\text{conf}(X \rightarrow Y) = \frac{|X \cap Y|}{|X|}.$$

Процесс поиска ассоциативных правил состоит из двух частей: определение частых множеств признаков на основе заданной минимальной поддержки и собственно вывод ассоциативных правил.

Вычисление частых множеств признаков из заданного набора данных не является тривиальной задачей. На этом этапе определяются все наборы признаков, которые встречаются, по крайней мере так часто, как указанная пользователем минимальная поддержка. Здесь весьма важным является время вычисления, и когда речь идет о больших базах данных, встает задача распараллеливания вычислений.

После того, как сгенерированы все частые множества признаков, отвечающие требованиям минимальной поддержки, из них могут быть получены ассоциативные правила. При этом учитывается значение минимальной достоверности.

В случае количественных данных база данных приводится в бинарному виду путем разбивки множества возможных значений признаков на интервалы, и при этом каждое исходное значение признака либо является членом этого интервала, либо нет.

Отметим, что такой подход не является оптимальным, так как теряется важная информация. В этом случае можно воспользоваться понятиями нечеткой логики и нечетких множеств, которые более тонко могут отражать результаты измерений, нежели просто разбивка множеств данных на интервалы [4, 5].

В основе понятия нечеткого множества (Fuzzy-множества) лежит представление о том, что составляющие данное нечеткое множество элементы, обладающие общим свойством, могут обладать этим свойством в различной степени. Fuzzy-множество описывается лингвистической переменной, термами и терм-множеством и функцией принадлежности каждого лингвистического терма [1–4].

Лингвистическая переменная имеет вид $\langle N, T, X \rangle$, где N – имя переменной, T – множество термов, которые являются Fuzzy-переменными, X – множество значений переменной.

Для поиска нечетких ассоциативных правил каждый атрибут следует охарактеризовать лингвистической переменной, а каждый интервал значений – лингвистическим термом. Например, для лингвистической переменной Доход из соответствующей предметной области имеем $N = \text{«Доход»}$, $T = \{\text{«низкий»}, \text{«средний»}, \text{«высокий»}\}$, $X = [50, 200000]$. Термы «низкий», «средний», «высокий» связаны со следующими значениями дохода: меньше 1000, лежит в пределах 1000–1999, больше 1999.

Каждому терму сопоставляется нечеткое множество с соответствующей функцией принадлежности. Как правило, функция принадлежности Z-, П- и S-образны.

В результате таких действий признаки в базе данных формулируются нечеткими понятиями, но сами значения данных в кортежах базы данных – двоичные.

Нечеткое ассоциативное правило будет иметь вид:

если x это A , то y это B ,

где x , y – лингвистические переменные, A , B – лингвистические термы [5, 6].

Для оценки нечетких ассоциативных правил вновь используются характеристики поддержки и достоверности, но с использованием операций над нечеткими множествами [4, 5, 6].

Так как исходные данные приведены к бинарному виду, то нечеткие ассоциативные правила будут строиться таким же образом, как в случае наличия бинарных исходных данных [6].

Построенные нечеткие ассоциативные правила будем рассматривать как экспертные знания. Сама экспертная система будет представлять собой Fuzzy-систему с построенными правилами в качестве правил вывода [7, 8, 9].

Режим решения экспертной системой задачи, с которой к системе обращается конечный пользователь, реализуется в виде логического вывода в Fuzzy-системе по известным алгоритмам [8,9]. Пользователь обращается к экспертной системе с некоторым вопросом, на который система пытается ответить. Входными данными являются вектора, содержащие «четкую» информацию, на выходе системы в результате Fuzzy-вычислений выдается заключение, где все Fuzzy-переменные имеют конкретные значения.

Таким образом, разработанный подход позволяет одновременно генерировать экспертные знания и правила вывода экспертной системы. Вычислительный компонент экспертной системы реализуется посредством процесса логического вывода.

Программно реализован модуль генерации ассоциативных правил по двоичной базе данных. В качестве тестовых данных были ис-

пользованы базы данных эпидемиологических исследований. Предполагается программная реализация нечеткого логического вывода путем экспорта функций принадлежности и нечетких ассоциативных правил в среду MatLab и использования специального инструментария пакета MatLab.

Предложенная методика может быть использована для разработки экспертных систем для разных сфер человеческой деятельности без привлечения экспертов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гаскаров Д.Б.* Интеллектуальные информационные системы. М.: Высшая школа, 2003.
2. *Убейко В.Н.* Экспертные системы. М.: МАИ, 1992.
3. *Ясницкий Л.Н.* Введение в искусственный интеллект. М.: Академия, 2005.
4. *Zimmerman H.* Fuzzy set theory and its applications. Boston, 1985.
5. *Рыжов Р.А.* Элементы теории нечетких множеств и ее приложений. М.: Диалог–МГУ, 2003.
6. *Cordon O., Herrera F., Hoffmann F., Magdalena L.* Genetic fuzzvsvsystems evolutionary tuning and learning of fuzzy knowledge bases. Advances in Fuzzy Systems–Applications and Theory Vol. 19, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2001.
7. *Dubois D., Prade H.* Fuzzy sets and Systems: Theory and Applications. Orlando, FL: Academic Press, 1980.
8. *Chen Guoging, Wei Qiang* Fuzzy association rules and the extended mining algorithms. Information Sciences-Informatics and Bibliography Computer Science: An International Journal, 2002.
9. *Delgado Miguel, Marin Nicolas, Sanchez, Daniel, Vila Maria-Amparo* Fuzzy association rules – general model and applications. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 11, No. 2, 2003.

ON THE AUTOMATIC GENERATION OF EXPERT SYSTEMS

A. Hovakimyan, S. Sargsyan, W. Shevchenko

*Russian-Armenian University
Yerevan State University
Sevastopol State University*

ahovakimyan@ysu.am, siranushs@ysu.am, shechenko-vika@mail.ru

ABSTRACT

In the paper, a technique of designing of expert systems is proposed. The approach is based on automated generation of experts' knowledge. This knowledge is extracted from a large amount of accumulated observational data and is presented in the form of association rules. The approach uses a fuzzy logic and linguistic model of decision-making.

Keywords: expert systems, experts knowledge, fuzzy association rules.

ՓՈՐՁԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԱՎՏՈՄԱՏԳԵՆԵՐԱՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա.Ա. Հովակիմյան, Ս.Տ. Սարգսյան, Վ.Ի. Շևչենկո

*Հայ-Ռուսական համալսարան
Երևանի պետական համալսարան
Սևաստոպոլի պետական համալսարան*

ahovakimyan@ysu.am, siranushs@ysu.am, shechenko-vika@mail.ru

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Հոդվածում նկարագրված է փորձագիտական համակարգերի ստեղծման մի եղանակ: Այն հիմնված է դիտարկումների արդյունքում կուտակ-

ված մեծածավալ տվյալներից փորձագիտական գիտելիքների ավտոմատ եղանակով գեներացիայի վրա: Փորձագիտական գիտելիքները ներկայացվում են ոչ հստակ ասոցատիվ կանոնների տեսքով: Այս մոտեցումն օգտագործում է ոչ հստակ տրամաբանության մեթոդները և որոշումների կայացման լինգվիստիկ մոդելը:

Հիմնաբառեր` փորձագիտական համակարգ, փորձագիտական գիտելիք, ոչ հստակ ասոցատիվ կանոններ:

ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

С.Г. Саркисян, А.С. Овакимян, Е.Н. Мащенко

*Ереванский государственный университет
Российско-Армянский университет
Севастопольский государственный университет*

siranushs@ysu.am, ahovakimyan@ysu.am, elmachenko@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Методы прогнозирования временных рядов представляют большой практический интерес и позволяют решать широкий спектр задач в науке, технике и экономике. К числу таких задач можно отнести анализ социальных, экономических, геофизических процессов, предсказание природных явлений, экономических событий и т.д.

В данной статье представлены задачи по разработке и реализации модели прогнозирования временных рядов с использованием статистических методов и нейронных сетей. Построена параметрическая прогнозирующая система **Time Series Neuro**, которая в соответствии с решаемой задачей анализирует временной ряд, устанавливает соответствующие параметры, исходя из поставленной задачи, выбирает метод решения (статистический, нейронная сеть) и язык реализации (Python, C#). При необходимости в системе одна и та же задача решается разными методами, осуществляется сравнительный анализ результатов. Для выбора параметров временного ряда, статистической модели и архитектуры нейронных сетей разработано и протестировано множество типовых примеров.

Система **Time Series Neuro** использована для прогнозирования погоды, курса валюты, продажи продуктов.

Ключевые слова: прогнозирование, временные ряды, статистический метод, нейронная сеть.

В последние годы появилось множество методов прогнозирования, показавших свою достаточно высокую эффективность. Эти методы играют ключевую роль в повышении эффективности, надежности и качества технических, экономических и других систем. К таковым относятся модели машинного обучения (Machine Learning), которые стали представлять собой серьезную конкуренцию классическим статистическим моделям и методам прогнозирования [1, 2, 3]. Эти подходы охватывают авторегрессионный анализ различных типов, прогнозирование на основе методов Монте-Карло, методы на основе построения экспертных оценок и многое другое [1, 2, 3, 7].

Несмотря на наличие описанного спектра методов и алгоритмов, многие проблемы в задачах прогнозирования еще далеки от своего разрешения. Одна из важнейших таких проблем – повышение качества прогнозирования характеристик систем, описываемых временными рядами. Другой важной проблемой является отсутствие значимых или многочисленных результатов и методов прогнозирования на несколько шагов вперед, несмотря на то, что данный класс задач также является очень важным и актуальным.

В общем виде задача прогнозирования временных рядов формулируется следующим образом. Пусть имеется некоторый источник, порождающий последовательность элементов X_1, X_2, X_3, \dots из некоторого множества A . Пусть при этом на момент времени t мы имеем конечную порожденную источником последовательность $X_1, X_2, X_3, \dots, X_t$. Задача прогнозирования сводится к предсказанию элемента, следующего в момент времени $(t+1)$, т.е. элемента X_{t+1} .

Цель работы состоит в создании модели для решения определенных классов задач прогнозирования на основе временных рядов и разработке программной системы для реализации модели.

Для построения модели для временного ряда были необходимы:

- разработка методов анализа и нормализации,
- выбор и установка множества параметров модели,
- определение элементов обучающей последовательности, в зависимости от типа задач и типа данных.

Модель реализована на основе нейронной сети, для которой было необходимо:

- определить структуру как многослойную;
- организовать фазу обучения сети на основе установленных параметров;
- разработать и внедрить типичные примеры использования сети.

Чтобы проверить качество разработанной системы было необходимо:

- апробировать систему для реальных данных;
- реализовать некоторые классические статистические модели;
- провести сравнительный анализ результатов работы классической статистической модели и нейронной сети.

Вышеуказанные проблемы были решены в соответствующих блоках разработанной системы **Time Series Neuro**.

Временные ряды – это совокупность значений, полученных в некоторый период времени, обычно – через равные интервалы. Для прогнозирования значения учитывается, что данные временных рядов обладают некоторыми важными характеристиками.

Базовый уровень (Base level) определяется как среднее значение временного ряда. Тренд (Trend) показывает, как временные ряды изменяются от одного периода к другому. Некоторые значения (сезонные колебания) имеют тенденцию роста или снижения в зависимости от определенных периодов времени. Некоторые модели прогнозирования включают шум (Noise), или ошибку, которая относится к случайным колебаниям и неравномерным движениям в данных. Таким образом, для создания модели прогнозирования при анализе данных учитывались эти характеристики.

Ниже приводятся некоторые примеры прогнозирования, реализованные в **Time Series Neuro**.

Для данной числовой последовательности ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$), длины n ($n > 1$) требуется найти закономерность для определения значения элемента в позиции $(n + 1)$. Это означает, что для любого элемента X_i ($1 < i < n$) в последовательности нужно найти следующий элемент.

В этом случае во время обучения сеть в качестве входных данных принимает числовые обучающие последовательности с шагом один (шагом k), находит закономерности среди членов данной последовательности и после обучения владеет способностью возвращать требуемое значение в последовательности: каждый $(n+1)$ -ый элемент, следующий за n -тым. В случае с шагом k во время обучения сеть в качестве входных данных принимает числовые обучающие последовательности с шагом k , то есть во время обучения задаются сегменты длины k из числовой последовательности. Цель состоит в определении значения, следующего за n -ой позицией элемента числовой последовательности. В этом случае количество входных нейронов в сети равно k .

Нейронные сети выбранной архитектуры использовались для прогнозирования температуры воздуха, индексов потребительских цен и курсов валют. На Рис. 1. представлены результаты прогнозирования температуры воздуха. В качестве входных данных рассматривался временной ряд по дневной и ночной температурам воздуха в г. Ереване за период с 1 января по 30 мая 2016 года.

#	Обучающая выборка	Ожидаемое значение	Прогнозированное значение
1	-1,-3	-1	-2
2	-1,-5	-5	-4
3	-5,-7	-7	-7
...			
120	23, 22	23	23,2

Рис. 1. Прогнозирование температуры воздуха.

Для решения выше перечисленных задач использовались также регрессионные и авторегрессионные модели (ARIMA) [7, 8]. На Рис. 2. представлены результаты сравнительного анализа результатов прогнозирования, полученные с помощью механизма нейронных сетей и модели ARIMA.

Модель ARIMA		Нейронная сеть (реализация на языке Phyton)		Нейронная сеть (реализация на языке C#)	
Ожидае- мое зна- чение	Прогнози- рованное значение	Ожидаемое значение	Прогнозиро- ванное зна- чение	Ожидаемое значение	Прогнозиро- ванное зна- чение
2	1.15	2	2.1	2	2.15
0	1.26	0	0.25	0	-0.79
0	1.18	0	0.21	0	-0.12
1	1.1	1	1	1	1.37
3	1.13	3	3.02	3	3.05

Рис. 2. Прогнозирование моделью ARIMA и нейронной сетью.

Как видно из приведенных результатов, в отличие от статистического анализа, основанного на общих рекомендациях, нейросети способны строить оптимальную модель прогнозирования. Модель адаптивна и меняется вместе с рынком, что особенно важно для современных высокочастотных финансовых рынков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ahmed N.* An empirical comparison of machine learning models for time series forecasting, *Econometric Reviews*, 2010, Vol. 29, Issue 5–6. PP. 594–621.
2. *Palit A.K., Popovic D.* Computational Intelligence in Time Series Forecasting: Theory and Engineering Applications, Springer-Verlag New York: Se-caucus, NJ, USA, 2005.
3. *Zhang G., Patuwo B.E., Michael Y.H.* Forecasting with artificial neural networks, *International Journal of Forecasting*. 1998. Vol. 14, Issue 1. PP. 35–62.
4. *Тихонов Э.Е.* Прогнозирование в условиях рынка. Невинномысск, 2006.
5. *Приставка П.А.* Экспериментальное исследование метода прогнозирования, *Вестник СибГУТИ*, 2010.
6. *Ежов А.А.* Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе. М.: МИФИ, 1998. 222 с.
7. *Панфилов П.Н.* Введение в нейронные сети, 2001.

8. *Box, George; Jenkins Gwilym* Time series analysis: forecasting and control, rev. ed, Oakland, California: Holden-Day,1976.

TIMES SERIES IN FORECASTING PROBLEMS

S. Sargsyan A. Hovakimyan, E. Maschenko

*Yerevan State University, Russian-Armenian University
Sevastopol State University*

siranushs@ysu.am, ahovakimyan@ysu.am, elmachenko@mail.ru

ABSTRACT

Time series prediction methods have practical importance and are used in the fields of science, economics, technology. The article describes the problems that arose during the creation and implementation of time-series prediction system. The parametric TimeSeriesNeuro system is developed, which uses statistical models and neural networks. The system according to incoming data analysis, statistical or neural network models is made and depending on the task is performed in Python or C # . If necessary, the same problem is solved in different ways and a comparative analysis of the results obtained is made.

Keywords: prediction, time series, neural network.

ԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ՇԱՐՔԵՐԸ ԿԱՆԽՈՐՈՇՄԱՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐՈՒՄ

Ս.Գ. Սարգսյան, Ա.Ս. Հովակիմյան, Ե.Ն. Մասչենկո

***Երևանի պետական համալսարան, Հայ-Ռուսական համալսարան
Սևաստոպոլի պետական համալսարան***

siranushs@ysu.am, ahovakimyan@ysu.am, elmachenko@mail.ru

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Ժամանակային շարքերի կանխորոշման մեթոդները ունեն պրակտիկ նշանակություն և օգտագործվում են գիտության, տնտեսագիտության, տեխնիկայի ոլորտներում: Հոդվածում նկարագրված են խնդիրներ, որոնք

առաջացել են ժամանակային շարքի կանխորոշման համակարգի ստեղծման և իրականացման ժամանակ: Մշակված է պարամետրական Time Series Neuro համակարգ, որտեղ օգտագործված են վիճակագրական մոդելներ և նեյրոնային ցանցեր: Համակարգում ըստ մուտքային տվյալների վերլուծության, կանխորոշումը կատարվում է վիճակագրական կամ նեյրոնային ցանցի մոդելներում և կախված խնդրից իրականացվում Python կամ C# միջավայրում: Անհրաժեշտության դեպքում նույն խնդիրը լուծվում է տարբեր մեթոդներով և կատարվում է ստացված արդյունքների համեմատական վերլուծություն:

Հիմնաբառեր՝ կանխորոշում, նեյրոնային ցանցեր, ժամանակային շարք:

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН С ПОДВИЖНЫМИ СОЧЛЕНЕНИЯМИ СВЕРХРАЗМЕРНЫХ ВОЛНОВОДОВ

В.Г. Аветисян, А.А. Багдасарян, Р.А. Давтян

Российско-Армянский университет

Ереванский научно-исследовательский институт средств связи

avahan@mail.ru, hakob93baghdasaryan@gmil.com, robdav@bk.ru

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты проектирования линии передачи миллиметровых волн с подвижными сочленениями сверхразмерных полых металлических квадратных волноводов. Линия предназначена для сканеров автоматических комплексов по измерению ближних полей антенн.

Ключевые слова: миллиметровые волны, сверхразмерный волновод, линия передачи, волноводный тромбон, пантограф.

Введение

Метод антенных измерений по ближнему полю [1–4] в диапазоне миллиметровых волн (ММВ) посредством автоматических измерительных комплексов (АИК) сталкивается с принципиальными трудностями по реализации точностей позиционирования сканируемого измерительного зонда и измерения амплитудно-фазового распределения (АФР) ближнего поля измеряемых антенн. Нестабильность передаточных ха-

рактистик подвижной линии передачи сканера АИК вносит свой вклад в погрешности измерений АФР. Для достаточно точного восстановления параметров антенны в дальнем поле требуется линия передачи с передаточными характеристиками по амплитуде менее 1дБ и по фазе в несколько градусов. Отсутствие малых по потерям фазостабильных коаксиальных кабелей диапазона ММВ длиной 2–3 метра не позволяет реализацию подвижной линии сканера АИК на таком кабеле. Между тем, линия передачи такой длины позволит производить измерение остронаправленных антенн диапазона ММВ с шириной главного лепестка ДН до $0,1^{\circ}$.

В работе приведены результаты проектирования подвижной линии передачи сканера АИК, предназначенных для определения характеристик антенн ММВ методом измерения их ближнего поля.

Для реализации подвижной линии передачи сканера АИК диапазона ММВ предлагается подвижная линия передачи на сверхразмерных волноводах. Линия содержит подвижные сочленения сверхразмерных волноводов [5]. Для обеспечения стабильности передаточных характеристик такой линии передачи применяется метод тромбонной компенсации изменения ее геометрической длины в процессе измерения зондом АФР ближнего поля испытываемой антенны, предложенный в [6, 7].

Предлагаемая линия передачи спроектирована на квадратных сверхразмерных металлических волноводах с рабочей модой H_{10} , выбор которых обусловлен равнозначностью по отношению к линейной поляризации возбуждаемой волны и относительной легкостью изготовления подвижных сочленений волноводов. Внутренний размер стенки стыкуемых квадратных сверхразмерных волноводов в подвижных сочленениях линии передачи лежит в пределах 36...40мм. Такой размер обеспечивает параметр квазиоптического приближения для диапазона волн 1...7,5мм с минимальным значением около 30, при котором наблюдаются малые погонные потери для ММВ отмеченного диапазона [5, 8]. Предлагаемая подвижная линия передачи ММВ неизменной длины содержит фильтры паразитных типов волн, описанных в [7, 9]. Такая линия передачи содержит также переходы от сверхразмерного волновода к одномодовому волноводу конкретно выбранного диапазона ММВ, спроектированных согласно рекомендациям [10].

При проектировании пантографа для тромбонной компенсации изменения длины передающей волноводной линии с подвижными сочленениями учитывались требования на конструктивные размеры плеч пантографа и на соотношения их длин. Для обеспечения соотношения поступательных перемещений измерительного зонда и колена тромбонного компенсатора в отношении 2:1 спроектирован соответствующий пантограф на основе прямоугольных стальных труб с внешним сечением 25 мм x 10 мм и толщиной стенок 2,0 мм. При поступательном ходе измерительного зонда сканера АИК на расстояние 1 м минимальный острый угол параллелограмма пантографа не превышает значения 40° .

Конструктивные размеры спроектированной линии передачи приведены на Рис. 1.

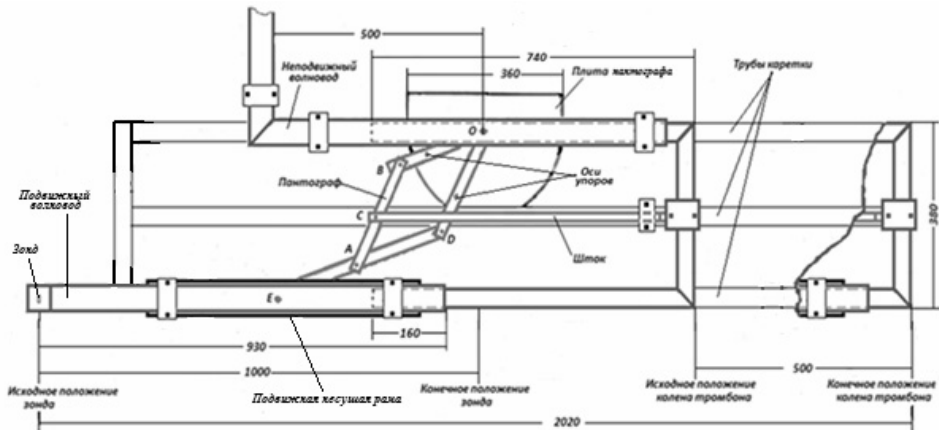


Рис. 1. Спроектированная линия передачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геруни П.М. Автоматические измерения характеристик антенн в зоне раскрывам // Труды ВНИИРИ, Ер., 1983.
2. Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне. Под ред. Л.Д. Бахраха. Л., Наука, 1985.
3. Yaghjian A. An overview of near-field antenna measurements // IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 34. PP. 30–45, January 1986.

4. Slater D. A 550 GHz near-field antenna measurement system for the NASA submillimeter wave astronomy satellite // Antenna Measurement Techniques Association Conf. PP. 267–272, October 1994.
5. Ваганов Р.Б., Матвеев Р.Ф., Меруакри, В.В. Многоволновые волноводы со случайными нерегулярностями. М., Сов. радио, 1972.
6. Avetisyan V. Scanner with transmission line for conventional planar antenna near-field measurements in the short millimeter waveband // IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 52. PP. 2500–2503, September 2004.
7. Avetisyan V.. Near-field testing system for antennas operating in short millimeter waveband // IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 58, № 6, June 2010. PP. 2149–2153.
8. Каценеленбаум Б.З. Квазиоптические методы формирования и передачи миллиметровых волн // УФН, т. LXXXIII, вып. 1. СС. 81–105, 1964.
9. Anderson T. State of the waveguide art // Microwave J., N 12. PP. 22–48, December 1982.
10. Bled J., Bresson A., Popoular R., Wegrowe J. Nouvelles techniques d'utilisation des ondes millimetriques et submillimetriques // L'Onde Electrique, N 442. PP. 26–35, Janvier 1964.

THE DESIGN OF MILLIMETER WAVEBAND TRANSMISSION LINE WITH MOBILE JOINTS OF SUPERDIMENSIONAL WAVEGUIDES

V. Avetisyan, H. Baghdasaryan, R. Davtyan

*Russian-Armenian University
Yerevan Telecommunication Research Institute*

avahan@mail.ru, hakob93baghdasaryan@gmil.com, robdav@bk.ru

ABSTRACT

The results of design of millimeter wave transmission line with mobile joints of superdimensional hollow metal square waveguides are represented. The line is intended for automatic complexes for antenna near-field measurements.

Keywords: millimeter waves, superdimensional waveguide, transmission line, waveguide trombon, patograph.

**ԳԵՐՉԱՓԱԼԻՔԱՏԱՐՆԵՐԻ ՇԱՐԺԱԿԱՆ ՄԻԱԿՑՈՒՄՆԵՐՈՎ
ՄԻԼԻՄԵՏՐԱՅԻՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ՀԱՂՈՐԴԱԳԾԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ**

Վ.Հ. Ավետիսյան, Հ.Ա. Բաղդասարյան, Ռ.Ա. Դավթյան

Հայ-Ռուսական համալսարան

Երևանի կապի միջոցների գիտահետազոտական ինստիտուտ

avahan@mail.ru, hakob93baghdasaryan@gmil.com, robdav@bk.ru

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Ներկայացված են գերչափսնա մեջ մետաղական քառակուսի ալիքատարների շարժական միակցումներով միլիմետրային ալիքների հաղորդագծի նախագծման արդյունքները: Հաղորդագիծը նախատեսված է անտենաների մոտակա դաշտի չափման ավտոմատ համալիրների սկաներների համար:

Հիմնաբառեր՝ Միլիմետրային ալիքներ, գերչափալիքատար, հաղորդագիծ, ալիքատարային տրոմբոն, պանտոգրաֆ:

КОНСТРУКЦИЯ ЧЕБЫШЕВСКОГО ПЕРЕХОДА ОТ ОДНОМОДОВОГО ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДА К КРУГЛОМУ ВОЛНОВОДУ С ВОЛНОЙ ТИПА H_{11}^{\odot}

В.Г. Аветисян, А.А. Мартиросян

*Российско-Армянский университет
Ереванский научно-исследовательский институт средств связи*

avahan@mail.ru, and.martirosyan@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В данной статье описан чебышевский переход от одномодового прямоугольного волновода к круглому волноводу. Переход предназначен для возбуждения в круглом волноводе моды H_{11}^{\odot} в С-диапазоне с центральной частотой 4ГГц.

Ключевые слова: чебышевский переход, прямоугольный волновод, овальный волновод, круглый волновод, С-диапазон.

Введение

Из существующих различных плавных и ступенчатых переходов между прямоугольными волноводами с волной типа H_{10}^{\square} с различными сечениями, при одинаковом перепаде волновых сопротивлений и требований к согласованию, наименьшими по длине являются чебышевские переходы [1–3]. Изготовление плавных переходов сложно и требует изготовления плавной формы оправки перехода, последующей ее гальванопластики для насаждения медного слоя на оправку и процесс отделения насажденного перехода от оправки [4].

Ниже предлагается ступенчатый переход, являющийся компактным и относительно простым в технологичности выполнения, и служащий в качестве составляющего узла возбудителя волны H_{11}^{\odot} в круглом волноводе. Этот узел со стороны входного сечения стыкуется с прямоугольным одномодовым волноводом с волной типа H_{10}^{\square} и с сечением $a \times b$ (a – размер широкой стенки, b – размер узкой стенки), а со стороны выходного сечения

стыкуется к круглому волноводу с диаметром $D = a$, обеспечивая в круглом волноводе возбуждение волны типа H_{11}^{\ominus} .

Схема расчета и описание изготовления перехода

Предлагаемый узел, входное и выходное сечения которого представлены на Рис. 1, является трехступенчатым переходом от овального волновода с высотой $b=25$ мм с диаметром овала $D = a = 54$ мм к конечному овальному сечению с тем же диаметром овала и конечной высотой b_k .

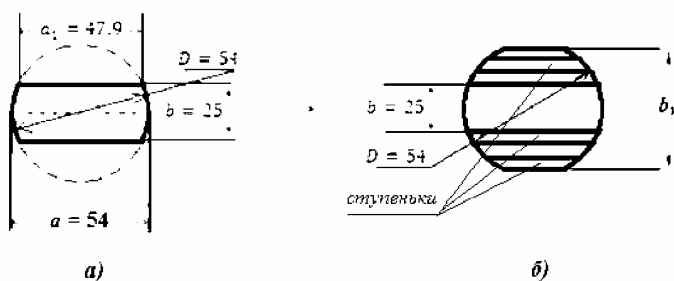


Рис. 1. Преобразование сечений овального перехода:
а) вид со стороны входного сечения;
б) вид со стороны выходного сечения.

Переход проектировался на основе следующих соображений. За основу расчета такого трехступенчатого овального перехода был принят расчет чебышевского трехступенчатого перехода от прямоугольного одномодового волновода (с рабочей модой H_{10}^{\square}) С-диапазона с центральной частотой 4ГГц и с внутренним сечением 54 мм × 25 мм к квадратному волноводу с сечением 54 мм × 54 мм, т.е. перепадом волнового сопротивления $R = 54 / 25 = 2,16$. Определение размеров и длин ступенек велось при близком табличном значении $R=2,2$ при количестве ступенек $n=3$ и максимальным коэффициентом отражения $|\Gamma|_{max}=0,005$, соответствующем коэффициенту стоячей волны по напряжению (КСВН), равным 1,01 [1]. Расчетные значения высот ступенек оказались следующими: $b_1=27,875$ мм, $b_2=37,075$ мм, $b_3 = b_k=49,325$ мм с соответствующими скорректированными их длинами $l_1=19,8$ мм, $l_2=19,6$ мм, $l_3=19,4$ мм. Общая суммарная длина перехода $L_{\text{Пч}}=58,8$ мм. Размер a_1 (см. Рис.1) определяется из следующего очевидного соотношения $a_1 = \sqrt{D^2 - b^2}$.

Приближение в конструкции перехода для возбуждения волны H_{11}° в круглом волноводе состоит в предположении, что в возбuditеле овальный переход с рассчитанными такими высотами ступенек (соответствующих вышеотмеченному случаю трехступенчатого чебышевского перехода от прямоугольного волновода к квадратному волноводу) обеспечит приемлемое значение КСВН конструкции. Фактически, рассчитанный выше чебышевский переход с прямоугольными волноводами заменяется на трехступенчатый переход с овальными волноводами одинакового диаметра, но с теми же ступеньками по высоте.

Овальный трехступенчатый переход был изготовлен из заготовки круглой дюралюминиевой болванки, которая затем фрезеровалась для получения необходимых ступенек. Вид полученной детали приведен на Рис.2.

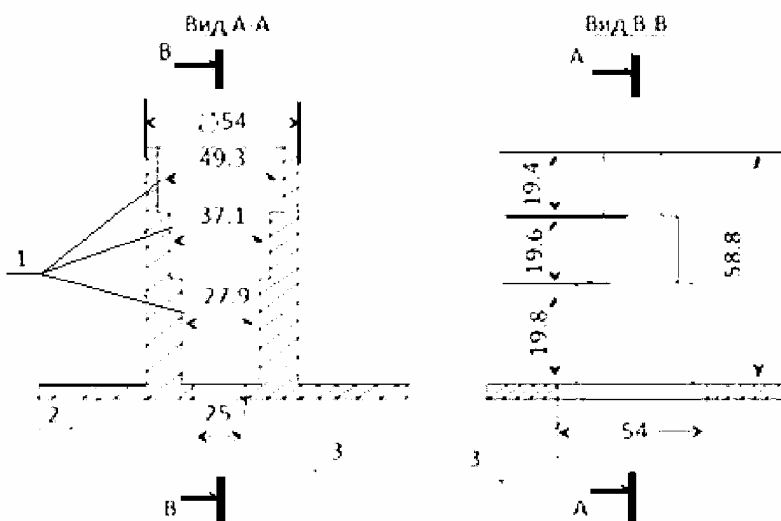


Рис. 2. Деталь овального трехступенчатого перехода с фланцем:
1 – ступеньки; 2 – фланец; 3 – входной овальный волновод.

На описанную деталь насаживался, до упора с фланцем 2 этой детали, отрезок круглого волновода со своим выходным фланцем. Отрезок круглого волновода скреплялся со ступеньками детали винтами. С целью обеспечения надежного электрического контакта алюминиевые детали перехода гальванически последовательно покрывались тонкими слоями (10...20 мкм) меди и «олово-висмут» для окончательной пайки легкоплавким припоем. На

Рис. 3 приведены фотографии с входной и выходной сторон овального трехступенчатого перехода.

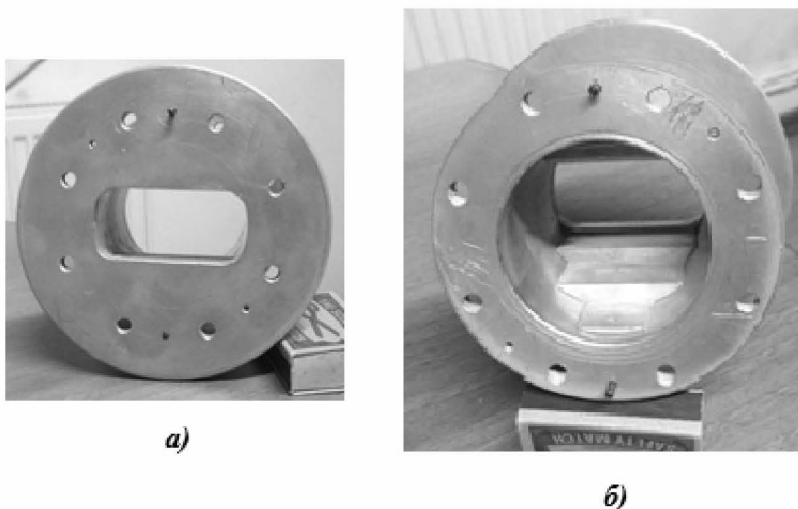


Рис. 3. Фотографии овального трехступенчатого перехода:
а) со стороны входного сечения;
б) со стороны выходного сечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П.* Справочник по элементам волноводной техники. М.: Изд-во «Советское радио», 1967.
2. *Харвей А.Ф.* Техника сверхвысоких частот. М.: Изд-во «Советское радио». Т.1, 1965.
3. *Семенов Н.А.* Техническая электродинамика. М.: Изд-во «Связь», 1973.
4. *Харвей А.Ф.* Техника сверхвысоких частот. М.: Изд-во «Советское радио». Т. 2, 1965.

THE CONSTRUCTION OF CHEBYSHEV TRANSITION
FROM SINGLE-MODE RECTANGULAR WAVEGUIDE TO CIRCULAR
WAVEGUIDE WITH H_{11}° MODE

V. Avetisyan, A. Martirosyan

*Russian-Armenian University
Yerevan Telecommunication Research Institute*

avahan@mail.ru, and.martirosyan@mail.ru

ABSTRACT

The chebyshev transition from a single-mode rectangular waveguide to circular waveguide is described. The transition is intended for exciting of H_{11}° mode in circular waveguide at the C-band with central frequency of 4 GHz.

Keywords: chebyshev transition, rectangular waveguide, oval waveguide, circular waveguide, C-band.

ՉԵԲԻՇԵՎՅԱՆ ԱՆՑՈՒՄ ՄԻԱՄՈԴ ՈՒՂԱՆԿՅՈՒՆ
ԱԼԻՔՍԱՆՐԻՑ ԴԵՊԻ H_{11}° ՄՈԴՍՅՈՎ ԿԼՈՐ ԱԼԻՔՍԱՐ

Վ.Շ. Ավետիսյան, Ա.Ա. Մարտիրոսյան

*Հայ-Ռուսական համալսարան
Երևանի կապի միջոցների գիտահետազոտական ինստիտուտ*

avahan@mail.ru, and.martirosyan@mail.ru

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Նկարագրված է չեբիշևյան անցում միամոդ ուղղանկյուն ալիքատարից դեպի կլոր ալիքատար: Անցումը նախատեսված է կլոր ալիքատարում գրգռելու C-տիրույթում կենտրոնական 4 ԳՀց հաճախականությամբ H_{11}° մոդ:

Հիմնաբառեր` չեբիշևյան անցում, ուղղանկյուն ալիքատար, ձվաձև ալիքատար, կլոր ալիքատար, C-տիրույթ:

ИНФРАКРАСНЫЙ ФОТОПРИЕМНИК НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА (P)INSB–(N)CDTE*

Л.А. Матевосян, А.В. Маргарян, К.Э. Авдьян, С.Г. Петросян

Институт радиофизики и электроники НАН РА

Российско-Армянский университет

avjyan@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В данной статье приведены характеристики инфракрасного фотоприемника (p)InSb–(n)CdTe, полученного методом лазерно-импульсного осаждения пленки CdTe на подложку InSb.

Ключевые слова: инфракрасный фотоприемник, гетеропереход (p)InSb–(n)CdTe, лазерно-импульсное осаждение.

Введение

Благодаря уникальным электрофизическим параметрам антимонид индия (InSb) является важным материалом, который широко используется для изготовления фотодетекторов среднего инфракрасного (ИК) диапазона длин волн [1]. Фотодиоды на основе InSb обычно изготавливаются с применением процессов диффузии примесей [2], ионной имплантации [3] с последующим отжигом или методом молекулярно-пучковой эпитаксии[4].

Известно, что в гетеропереходных (ГП) фотоприемниках наличие широкозонного окна для фотонов, энергия которых больше ширины запрещенной зоны одного материала и меньше ширины запрещенной

* Работа выполнена в совместной с Российско-Армянским университетом (РАУ) лаборатории Института радиофизики и электроники «Полупроводниковая электроника» при финансовой поддержке РАУ.

зоны другого, имеет место эффективное фотопреобразование, так как генерация носителей и их разделение происходят геометрически в одном и том же месте – в области пространственного заряда. Кроме того, обеспечивается высокое быстродействие, исключаются рекомбинационные потери на поверхности раздела, а также реализуется выход рекомбинационного излучения без поглощения. Для обеспечения перечисленных преимуществ при выборе полупроводниковых пар для ГП существенную роль играют совпадение их кристаллических структур и постоянных решеток. Ближе к идеальному может быть ГП между InSb и CdTe. Обе они имеют кубическую кристаллическую решетку и почти идеальное совпадение параметров решеток ($\alpha_{\text{InSb}} = 6,479 \text{ \AA}$, $\alpha_{\text{CdTe}} = 6,477 \text{ \AA}$). Заметим, что коэффициенты термического расширения InSb ($\alpha_T = 4,9 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) и CdTe ($\alpha_T = (5,0—5,5) \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) тоже находятся в хорошем соответствии. Кроме того, без применения специальных антиотражающих покрытий, из-за низкого значения коэффициента преломления CdTe по сравнению с InSb, потери, связанные с отражением от широкозонного слоя в области длин волн 2–7 мкм, в случае ГП InSb–CdTe, будут меньше, чем для p-n перехода на основе InSb. Несмотря на вышесказанные положительные отличия от гомопереходного приемника, рост кристаллической пленки CdTe на подложке из InSb приводит к образованию некогерентного интерфейса, который затрудняет изготовление качественного устройства. Образованные на границе раздела соединения были идентифицированы как теллурид индия In_2Te_3 [5] или напряженная фаза InTe [6].

Целью данной работы было создание простого по технологии изготовления (исключающие процессы имплантации, диффузии и отжига) фотоприемников на основе ГП (p)InSb–(n)CdTe и исследование их характеристик.

Эксперимент и результаты исследований

Для изготовления ГП (p)InSb–(n)CdTe нами был использован метод лазерно-импульсного осаждения [7], который обеспечивает эпитаксиальный рост пленок CdTe на пластинах InSb при довольно низких температурах подложки ($T_n = 200–225 \text{ }^\circ\text{C}$), благодаря чему практически исключается взаимная диффузия компонент полупроводников. В ка-

честве подложек использованы полированные пластины (p)InSb с концентрацией акцепторов $N_A=4,17 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Толщина слоя CdTe варьировалась в диапазоне 0,1–1,2 мкм. Омические контакты к обеим областям ГП сформированы с помощью термического напыления металлического индия (In). Исследованы спектральные, электрические и фотоэлектрические свойства изготовленных ГП при температуре жидкого азота ($T=78^\circ\text{K}$). Спектр чувствительности приведена на Рис. 1.

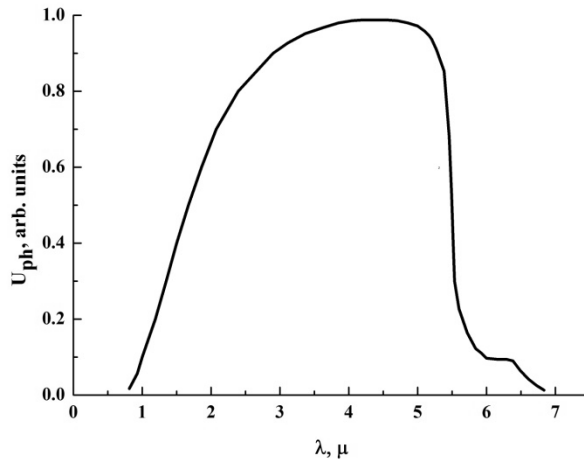


Рис. 1. Спектр чувствительности ГП (p)InSb-(n)CdTe.

Измерения вольт-ваттной чувствительности были проведены на длине волны $\lambda=3,39$ мкм с помощью He-Ne-лазера, работающего в непрерывном режиме. Быстродействие изготовленных гетеропереходов определена при сравнении их фотооткликов с откликами фотоэлектрического умножителя ФЭУ-62 (с известной постоянной времени нарастания сигнала $\tau \approx 4$ нс) при одновременном падении на них лазерных импульсов с длиной волны $\lambda=1,06$ мкм и длительностью 30 нс. С помощью спектроанализатора исследовались также шумовые характеристики ГП после предварительного усиления сигнала усилителем с коэффициентом усиления $K=350$ и со спектральной плотностью собственных шумов $U_{ш} = 1,4 \text{ нВ/Гц}^{1/2}$. Под действием естественного фонового излучения при частотах модуляции $f > 2$ кГц спектральная плотность шумов системы усилитель-фотоприемник составила $2,6 \text{ нВ/Гц}^{1/2}$. Изме-

рение обнаружительной способности гетеропереходного фотоприемника проводились в режиме короткого замыкания под действием фонового излучения ($T = 300 \text{ K}$) с помощью селективного нановольтметра «Унипан 232В» при частоте модуляции $f = 2000 \text{ Гц}$. По результатам проведенных исследований и расчетов построена диаграмма энергетических зон ГП (p)InSb – (n)CdTe (Рис. 2).

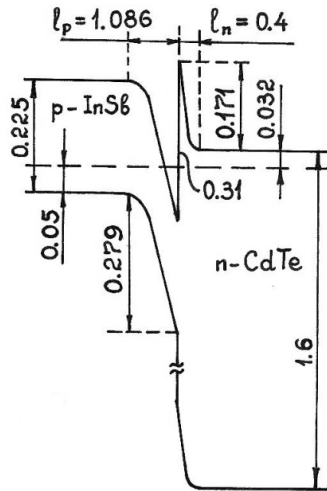


Рис. 2. Диаграмма энергетических зон ГП (p)InSb-(n)CdTe.

Основные параметры полученных фотоприемников имеют следующие значения:

1. Спектральный диапазон на уровне 0,1.....0.7 – 5.8 мкм
2. Спектральная чувствительность ($\lambda = 3,39 \text{ мкм}$).....1000В/Вт
3. Обнаружительная способность,
 $D^* (4,8; 2000; 1)$ $1.8 \times 10^{11} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$
4. Время переключения, τ < 15 нс
5. Рабочая поверхность, S.....до(0,5×0,5) см
6. Рабочая температура, T.....78°K

В дальнейшем на основе фотоприемника (p)InSb–(n)CdTe предполагается построить планарный координатно-чувствительный элемент с четырьмя точечными контактами, расположенными на противоположных углах подложки определенной конфигурации. При фокусировке теплового сигнала от удаленного объекта на поверхность такого эле-

мента, по сочетанию уровней сигналов от четырех приемников, с помощью определенного алгоритма, можно фиксировать координаты источника и следить за его движением.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gaussorgues G.* La Thermographie Infrarouge (Principes Technologie-Applications). Technique et Documentation (Lavoisier), 1984.
2. *Tu S.L., Hunag K.F. and Yang S.J.* Japanese Journal of Applied Physics. V. 29. No.3, P. 463. (1990).
3. *Rosbeck J.P. and Kasai I.* IEEE IEDM. V. 81. P. 161 (1981).
4. *Udayashankar N.K. and Bhat H. L., Bull. Mater.Sci. 24, 445 (2001).*
5. *Zahn et al.* Appl. Surf. Sci. 41/42, 497 (1989).
6. *Van Welzenis et al.* Appl. Phys. A52, 19 (1991).
7. *Aleksanian A.G., Kazarian R.K. and Matevosyan L.A.* Elektronnaya Promyshlennost', No. 1(107), 55 (1981).

INFRARED PHOTO-DETECTOR BASED ON (p)InSb-(n)CdTe HETEROJUNCTION

L. Matevosyan, A. Margaryan, K. Avjyan, S. Petrosyan

Institute of Radiophysics & Electronics NAS RA

Russian-Armenian University

avjyan@gmail.com

ABSTRACT

This article presents the characteristics of (p)InSb-(n)CdTe infrared photo-detector, fabricated by pulsed laser deposition of CdTe film on InSb substrate.

Keywords: infrared photo-detector, (p)InSb-(n)CdTe heterojunction, pulsed laser deposition.

(p)InSb-(n)CdTe ՀԵՏԵՐՈԱՆՑՄԱՆ ՎՐԱ ՀԻՄՆՎԱԾ
ԻՆՖՐԱԿԱՐՄԻՐ ՖՈՏՈՐՆԴՈՒՆԻՉ

Լ.Ա. Մաթևոսյան, Ա.Վ. Մարգարյան, Կ.Է. Ավջյան, Ս.Գ. Պետրոսյան

ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտ

Հայ-Ռուսական համալսարան

avjyan@gmail.com

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Հոդվածում ներկայացված են InSb հարթակի վրա լազերային-իմպուլսային փոշեցրման եղանակով CdTe-ի թաղանթի նստեցմամբ պատրաստված (p)InSb-(n)CdTe ինֆրակարմիր ֆոտոընդունիչի բնութագրերը:

Հիմնաբառեր՝ ինֆրակարմիր ֆոտոընդունիչ, (p)InSb-(n)CdTe հետերոանցում, լազերային-իմպուլսային փոշենստեցում:

**ՊՐՈՒԲԼԵՄԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐ ԷԼԵԿՏՐԱՍՏՏՏԻԿԱԿԱՆ ԵՎ
ԷԼԵԿՏՐԱԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՏԻՊԻ ՉԱՓԻՉ ՍԱՐՔԵՐԻ
ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ**

Ս.Ս. Մայիլյան, Գ.Ս. Ավետյան

Հայ-Ռուսական համալսարան

Հայաստանի Ազգային Ազրարային Համալսարան

sos.mailyan@mail.ru

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Հոդվածում էլեկտրաստատիկական և էլեկտրադինամիկական տիպի չափիչ սարքերի ուսուցումը ներկայացված է որպես պրոբլեմային խնդրի լուծում՝ ուսուցիչ-աշակերտ հարցուպատասխանների միջոցով: Նկարագրված են այդ սարքերի կառուցվածքը և աշխատանքի սկզբունքը: Ցույց է տրված, որ թեպետ էլեկտրաստատիկական սարքերն օժտված են փոքր զգայունությամբ, այդուհանդերձ, շնորհիվ գրեթե անվերջ մեծ դիմադրության, հոսանք բոլորովին չեն սպառում: Այդ սարքերով չափում են էլեկտրական դաշտի երկու կետերի միջև լարումը, որն իր հերթին տրվում է ձողի և մետաղե իրանի միջև պոտենցիալների տարբերությամբ: Էլեկտրադինամիկական սարքերը, ընդհակառակը, ունենալով չափման մեծ ճշգրտություն, սպառում են շատ էներգիա. դրանցով չափում են ինչպես հաստատուն, այնպես էլ փոփոխական հոսանքի ուժը (կամ լարումը):

Երկու տիպի սարքերի համար էլ արտածված են սանդղակի հավասարումները:

Հիմնաբառեր՝ չափիչ սարք, էլեկտրաչափ, էլեկտրադինամիկական ամպերաչափ և վոլտաչափ, սանդղակի հավասարում:

1. Ներածություն

Ֆիզիկայի դասավանդման պրոցեսում տեսական և գործնական գիտելիքներից բացի մեծ նշանակություն ունեն լաբորատոր աշխատանք-

ները: Լաբորատոր աշխատանքների ժամանակ չափիչ սարքերը կարելի է օգտագործել ոչ միայն անհրաժեշտ մեծությունները չափելու համար, այլ նաև նրանց աշխատանքի և կառուցվածքի հիման վրա ցույց տալ, թե ինչպես ֆիզիկայի օրենքները կարելի է կիրառել տեխնիկայում:

Այս հոդվածում մենք դիտարկել ենք երկու տեսակի չափիչ սարքերի կառուցվածքը և աշխատանքի սկզբունքը: Դրանք են էլեկտրադինամիկական և էլեկտրաստատիկ չափիչ սարքերը: Այդ սարքերի մասին ուսուցիչը կարող է ծանոթանալ էլեկտրատեխնիկայի ցանկացած դասագրքում: Էլեկտրաստատիկ չափիչ սարքերի մասին կարելի է ծանոթացնել աշակերտներին «Էլեկտրաստատիկա» բաժինը անցնելուց հետո, իսկ էլեկտրադինամիկական սարքերի մասին՝ «Հոսանքի մագնիսական դաշտի էներգիան» անցնելուց հետո: Դասն առավել հետաքրքիր դարձնելու համար նպատակահարմար ենք համարում աշակերտներին ծանոթացնել նշված սարքերի կառուցվածքին և աշխատանքի սկզբունքին՝ դասանյութը ձևակերպելով որպես պրոբլեմային խնդիր: (Պրոբլեմային կամ ստեղծագործական են անվանում այն խնդիրը, որի պահանջը կարելի է որոշել, ապացուցել, գնահատել, բացատրել խնդրի լուծման ընթացքում՝ ֆիզիկական օրենքների հիման վրա [1]:)

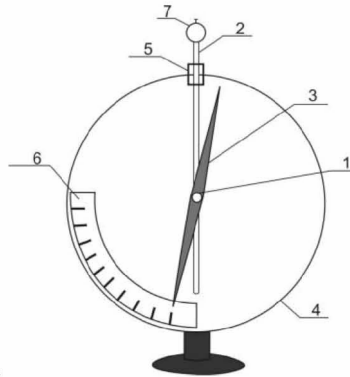
Իրենց բովանդակությամբ պրոբլեմային խնդիրները բազմազան և բազմաժանր են: Մենք ընտրել ենք միայն պոլիտեխնիկական հագեցվածությամբ խնդիրներ, որոնցում պահանջվում է բացատրել այս կամ այն տեխնիկական սարքի կառուցվածքը և աշխատանքի ֆիզիկական սկզբունքը: Տեխնիկական սարքերից առանձնացրել ենք էլեկտրաստատիկական էլեկտրադինամիկական չափիչ սարքերը:

2. Էլեկտրաստատիկ չափիչ սարքեր

Ուսուցիչ: Հաղորդիչների լիցքերը և պոտենցիալների տարբերությունը չափելու համար օգտագործում են հատուկ չափիչ սարքեր, որոնցից են, օրինակ, **էլեկտրաչափները**, որոնք դուր տեսել եք դպրոցի լաբորատորիայում: Կարո՞ղ եք ասել, ի՞նչ կառուցվածք ունի էլեկտրաչափը:

Պատասխան: Էլեկտրաչափը կազմված է (1) առանցքից, որին ամրացված է (3) այլումինե թեթև սլաքը, (2) մետաղյա ձողից, որոնք գտնվում են (4) մետաղյա պատյանում, որը ձողից մեկուսացված է մեկուսիչ նյութից

պատրաստված (5) խցանի միջոցով: Սարքն ունի սանդղակ (6), որով չափում են սլաքի շեղման անկյունը: Երբ հարկավոր է չափել հաղորդչի լիցքը, ապա ձողի՝ պատյանից դուրս գտնվող ծայրին ամրացվում է (7) խոռոչով մետաղյա գնդիկը (նկ.1):



Նկ. 1. 1-առանցք, 2-ձող, 3-սլաք, 4-պատյան, 5-խցան, 6-սանդղակ, 7-խոռոչով հաղորդիչ գունդ

Հարց: Ինչպե՞ս են էլեկտրաչափով չափում հաղորդիչների միջև պոտենցիալների տարբերությունը:

Պատասխան: Էլեկտրաչափի, ինչպես նաև յուրաքանչյուր էլեկտրաստատիկ չափիչ սարքի աշխատանքի սկզբունքը հիմնված է էլեկտրական լիցքերի փոխազդեցության վրա: Հետևաբար, էլեկտրաչափի սլաքի շեղման անկյան մեծությունը կախված է սլաքի վրա ազդող ուժից, որը պայմանավորված է ձողի և պատյանի միջև առկա էլեկտրական դաշտով: Քանի որ էլեկտրաչափի պատյանի ձևն անփոփոխ է, ապա էլեկտրաչափի ներսում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը կախված կլինի միայն ձողի և պատյանի միջև պոտենցիալների տարբերությունից (լարումից): Ուստի հաղորդիչների միջև լարումը չափելու համար հաղորդիչներից մեկը միացվում է պատյանին, իսկ մյուսը՝ ձողին: Էլեկտրաչափի սանդղակը այնպես է աստիճանավորվում, որ պտտման անկյունը համապատասխանի որոշակի պոտենցիալների տարբերությանը, ինչը հնարավորություն է տալիս սանդղակն աստիճանավորել լարման միավորներով՝

վոլտով կամ կիլովոլտով: Այսպիսով, էլեկտրաչափով չափում են ձողի (սլաքի) սլաքի և պատյանի միջև պոտենցիալների տարբերությունը, այլ կերպ ասած, էլեկտրաչափն իրենից ներկայացնում է վոլտաչափ: Սանդղակի սահմանային արժեքը համապատասխանում է մի քանի կիլովոլտի:

Ուսուցիչ: Չափվող ֆիզիկական մեծության արժեքից չափիչ սարքի սլաքի շեղման α անկյան կախման բանաձևն անվանում են սանդղակի հավասարում: Ապացուցե՛ք, որ սանդղակի հավասարումը ոչ գծային է:

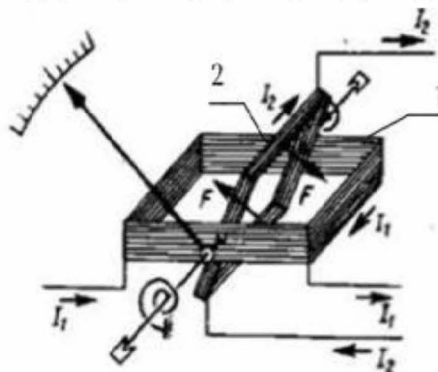
Լուծում: Սլաքի և ձողի շեղման α անկյունը, այսինքն՝ նրանց միջև էլեկտրաստատիկ վանողության ուժը կախված չէ նրանց լիցքի նշանից, հետևաբար նաև՝ ձողի և պատյանի միջև U պոտենցիալների տարբերության նշանից: Այստեղից կարելի է եզրակացնել, որ $\alpha \sim U^2$:

Հարց: Կարելի՞ է էլեկտրաչափով չափել հաղորդչի լիցքը:

Պատասխան: Այո: Դրա համար էլ էլեկտրաչափի պատյանը հարկավոր է հողակցել: Այդ դեպքում էլեկտրաչափը կարելի է օգտագործել նաև որպես էլեկտրացույց: Լիցքավորված հաղորդիչը ներսի կողմից հպելով էլեկտրաչափի մետաղյա գնդիկին՝ սլաքի շեղման անկյամբ կարելի է դատել հաղորդչի լիցքի քանակի մասին:

3. Էլեկտրադինամիկական չափիչ սարքեր

Ուսուցիչ: Էլեկտրադինամիկական չափիչ սարքերի աշխատանքի սկզբունքը հիմնված է երկու հոսանքակիր կոճերի մագնիսական փոխազդեցության վրա: Կոճերից մեկն անշարժ է, իսկ մյուսը՝ շարժական (նկ.2):



Նկ. 2. 1-անշարժ կոճ, 2-շարժական կոճ

Շարժական (2) կոճը տեղադրված է անշարժ (1) կոճի ներսում և կարող է պտտվել առանցքի շուրջը, որին ամրացված է սլաքը:

Առանցքին ամրացված են նաև երկու պարուրաձև զսպանակներ, որոնք ծառայում են հակազդեցության M' մոմենտ ստեղծելու համար:

Հարց: Ինչպե՞ս է առաջանում մագնիսական կապը երկու կոճերի միջև:

Պատասխան: Եթե շարժական և անշարժ կոճերով հոսում են I_1 և I_2 հոսանքներ, ապա շարժական կոճի ստեղծած մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի զծերի մի մասը կթափանցի անշարժ կոճի ներսը, իսկ անշարժ կոճի ստեղծած ինդուկցիայի զծերի մի մասը՝ շարժականի ներսը: Այլ կերպ ասած, նշված երկու կոճերի միջև կստեղծվի մագնիսական կապ:

Հարց: Ի՞նչ ֆիզիկական մեծությամբ է բնութագրվում շարժական և անշարժ կոճերի միջև ստեղծված մագնիսական կապը:

Պատասխան: Շարժական կոճում Φ_2 մագնիսական հոսքը, որը ստեղծվում է անշարժ կոճի կողմից, համեմատական է անշարժ կոճով անցնող I_1 հոսանքի ուժին՝

$$\Phi_2 = L_{21} \cdot I_1, \quad (1)$$

իսկ անշարժ կոճում Φ_1 մագնիսական հոսքը՝ ստեղծված շարժականի կողմից, համեմատական է շարժականով անցնող I_2 հոսանքի ուժին՝

$$\Phi_1 = L_{12} \cdot I_2: \quad (2)$$

Համեմատականության L_{21} և L_{12} գործակիցները կոչվում են, համապատասխանաբար, շարժական կոճի փոխադարձ ինդուկտիվություն անշարժ կոճի նկատմամբ և անշարժ կոճի փոխադարձ ինդուկտիվություն շարժականի նկատմամբ: Կարելի ապացուցել, որ $L_{21} = L_{12}$: Փոխադարձ ինդուկտիվության միավորը նույնպես հենրին է:

Հարց: Ինչպե՞ս է կախված սլաքի պտտման α անկյունը կոճերով անցնող հոսանքի ուժերից, երբ հոսանքը հաստատուն է:

Պատասխան: Շարժական և անշարժ հոսանքակիր կոճերի փոխազդեցության հետևանքով ստեղծվում է պտտող M մոմենտ: Այդ մոմենտի ազդեցությամբ շարժական կոճը պտտվում է այնքան ժամանակ, մինչև որ իրար են հավասարվում պտտող M և զսպանակների հակազդեցության M'

մոմենտները: Ելնելով այդ պայմանից՝ սլաքի պտտման α անկյան համար ստացվում է հետևյալ արտահայտությունը.

$$\alpha = \alpha I_1 I_2, \quad (3)$$

որտեղ α -ն տվյալ սարքի հաստատունն է: Ստացված բանաձևը ճիշտ է այն դեպքում, երբ կոճով հոսում է հաստատուն հոսանք: (3) բանաձևում ենթադրվում է, որ անշարժ կոճի ներսում մագնիսական դաշտը համասեռ է, ինչը հնարավոր է, եթե այդ կոճը բավականաչափ երկար է:

Հարց: Ե՞րբ կարելի է էլեկտրադինամիկական սարքը գործածել որպես ամպերաչափ կամ վոլտաչափ:

Պատասխան: Այն դեպքում, երբ շարժական և անշարժ կոճերը միացված են հաջորդաբար, այսինքն՝ $I_1 = I_2 = I$, ապա էլեկտրադինամիկական սարքը կարելի է օգտագործել որպես **ամպերաչափ** կամ **վոլտաչափ** քառակուսային սանդղակով՝ $\alpha \sim I^2$:

Հարց: Ե՞րբ կարող է էլեկտրադինամիկական սարքը օգտագործել որպես վատտաչափ:

Պատասխան: Եթե անշարժ կոճը միացվում է էլեկտրաէներգիայի սպառիչին հաջորդաբար, ինչպես ամպերաչափը, իսկ շարժական կոճը (լրացուցիչ դիմադրությամբ հաղորդչով)՝ զուգահեռ, ինչպես վոլտաչափը, ապա էլեկտրադինամիկական սարքը կարող է ծառայել որպես **վատտաչափ**:

Այդ դեպքում շարժական կոճի հոսանքի ուժը համեմատական է սպառիչին կիրառված U_2 լարմանը՝ $I_2 \sim U_2$: Եթե սպառիչում հոսանքի ուժը I_2 է, ապա սլաքի շեղման անկյունը՝

$$\alpha \sim I_1 I_2 \sim I_1 U_2 = P,$$

այսինքն՝ $\alpha \sim P$, որտեղ P -ն սպառիչում անջատված հզորությունն է: Սակայն հաստատուն հոսանքի դեպքում վատտաչափ հազվադեպ է օգտագործվում, քանի որ սպառիչի հզորությունը կարելի է չափել՝ սպառիչին միացված ամպերաչափի և վոլտաչափի ցուցմունքները բազմապատկելով:

Ուսուցիչն աշակերտներին հանձնարարում է տանն ապացուցել (3) առնչությունը, ինչպես նաև ցույց տալ, որ փոփոխական հոսանքի դեպքում, երբ սպառիչն օժտված է ոչ միայն R ակտիվ դիմադրությամբ, վատ-

տաշափը չափում է սպառիչի ակտիվ հզորությունը և սանդղակի հավասարումն է՝

$$\alpha \sim P_{ակտիվ} = I_1 U_2 \cos \varphi, \quad (4)$$

որտեղ I_1 -ը և U_2 -ը հոսանքի ուժի և լարման գործող արժեքներն են, φ -ն՝ հոսանքի և լարման տատանումների փուլերի տարբերությունը:

Հարց: Որո՞նք են էլեկտրադինամիկական սարքերի առավելությունները և թերությունները:

Պատասխան: Էլեկտրադինամիկական սարքերի առավելություններից է դրանց պիտանիությունը փոփոխական հոսանքների համար, ինչը բացատրվում է նրանով, որ երկու կոճերում հոսանքի ուղղությունների փոփոխությունը տեղի է ունենում միաժամանակ, հետևաբար՝ շարժական կոճի պտտող մոմենտը մնում է անփոփոխ: Այս սարքերի մյուս առավելություններն են՝ մեծ ճշտությունը, որը հնարավորություն է տալիս դրանք կիրառել լաբորատոր պրակտիկայում որպես ստուգիչ սարք, ինչպես նաև դրանց կիրառությունը ինչպես հաստատուն, այնպես էլ փոփոխական հոսանքների չափման համար: Թերություններից են՝ սանդղակի հավասարման ոչ գծային լինելը, գերբեռնվածության նկատմամբ մեծ զգայունությունը, ինչպես նաև նրանց աշխատանքի վրա արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցությունը:

4. Հավելված

Հավելվածում ներկայացված են աշակերտներին հանձնարարված խնդիրների լուծումները:

1-ին խնդրի լուծումը: Արտածենք (3) բանաձևը: Շարժական և անշարժ կոճերով հոսանք անցնելիս, մագնիսական փոխազդեցության հետևանքով, տեղի է ունենում շարժական կոճի պտտում առանցքի շուրջը:

Շարժական կոճի (որը ուղղանկյունաձև շրջանակ է) վրա ազդող ուժի մոմենտն է՝ $M = 2r \cdot F: F$ Ամպերի ուժը՝ $F = I_2 N_2 l B \cos \beta$, որտեղ l -ը շրջանակի այն կողմի երկարությունն է, որը գուգահեռ է առանցքին, N_2 -ը՝ շրջանակի գալարների թիվը, β -ն՝ շրջանակի հարթության և մագնիսական \vec{B} ինդուկցիայի վեկտորի կազմած անկյունը:

Քանի որ մագնիսական դաշտն ստեղծում է անշարժ կոճը, ապա $B = b\mu_0 I_1 N_1$, որտեղ b -ն անշարժ կոճի ձևից կախված գործակից է, I_1 -ը անշարժ կոճում հոսանքի ուժը, N_1 -ը՝ գալարների թիվը: Հետևաբար՝ $M \sim I_1 I_2 \cos\beta$: $M = M' = k\alpha$ պայմանից (k -ն զապանակի կոշտությունն է) սանդղակի հավասարման համար ստանում ենք՝ $\alpha \sim I_1 I_2 \cos\beta$: Պտտման փոքր β անկյունների դեպքում կարելի է համարել $\cos\beta \approx 1$, հետևաբար՝ $\alpha \sim I_1 I_2$, որն էլ ցանկանում էինք ցույց տալ:

2-րդ խնդրի լուծումը: Եթե կոճերով անցնող հոսանքը փոփոխական է, ապա, որպես կանոն, անշարժ կոճը սպառիչին միացվում է հաջորդաբար, իսկ շարժականը՝ զուգահեռ՝

$$i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \varphi) \quad \text{և} \quad u_2 = U_{m2} \sin\omega t,$$

որտեղ i_1 -ը և u_2 -ը սպառիչում հոսանքի ուժի և լարման ակնթարթային արժեքներն են, I_{m1} -ը և U_{m2} -ը՝ լայնույթային:

Շարժական կոճի (շրջանակի) փաթույթում հոսանքի ուժը, շնորհիվ մեծ լրացուցիչ ակտիվ դիմադրության, ըստ փուլի համընկնում է լարման հետ, ուստի կարելի է գրել՝

$$i_2 = I_{m2} \sin\omega t:$$

Հետևաբար, պտտող մոմենտի ակնթարթային արժեքը՝

$$m \sim i_1 i_2:$$

Պարբերության ընթացքում մոմենտի միջին արժեքը՝

$$\bar{M} \sim I_1 I_2 \cos\varphi,$$

որտեղ I_1 -ը և I_2 -ը հոսանքի ուժերի գործող արժեքներն են: Քանի որ $I_2 \sim U_2$, ապա կարելի է գրել՝ $\bar{M} \sim I_1 U_2 \cos\varphi$:

Երբ $\bar{M} = M'$, կստանանք՝

$$\alpha \sim I_1 U_2 \cos\varphi,$$

այսինքն՝ $\alpha \sim P_{ակտիվ}$:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Малафеев Р.И. Проблемное обучение физике в средней школе. М.: «Просвещение», 1980, 127 с.

2. Общая электротехника. Под ред. В.С. Пантюшина. М.: «Высш. школа», 1970, 568 с.
3. Ղազարյան Է., Կիրակոսյան Ա., Մելիքյան Գ., Մամյան Ա., Մայիլյան Ս. Ֆիզիկա-10, Ավագ դպրոցի 10-րդ դասարանի դասագիրք ընդհանուր և բնագիտամաթեմատիկական հոսքերի համար, Եր.: «Էդիթ Պրինտ», 2010, 272 էջ:
4. Ղազարյան Է., Կիրակոսյան Ա., Մելիքյան Գ., Մամյան Ա., Մայիլյան Ս. Ֆիզիկա-11, Ավագ դպրոցի 11-րդ դասարանի դասագիրք ընդհանուր և բնագիտամաթեմատիկական հոսքերի համար, Եր., «Էդիթ Պրինտ», 2010, 368 էջ:
5. Курс электрических измерений. Под ред. В.Т. Прыткова, А.В. Талицкого. М., 1960, 479 с.
6. Գալաշնիկով Ս.Բ. Էլեկտրականություն. Եր., 1968, 821 էջ:

ПРОБЛЕМНЫЕ ЗАДАЧИ ПО ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРАМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА

С.С. Маилян, Г.С. Аветян

Российско-Армянский университет

Национальный Аграрный Университет Армении

sos.mailyan@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В статье представлена методика обучения по измерительным приборам электростатического и электродинамического типа. Обучение представлено в виде решения проблемной задачи методом диалога: учитель – ученик. Описаны устройство и принцип работы приборов. Показано, что, несмотря на малую чувствительность электростатических приборов, они, имея практически бесконечно большое сопротивление, не потребляют электрического тока. Ими измеряется напряжение между двумя точками электрического поля, которое, в свою очередь, задается разностью потенциалов между стержнем и корпусом. Электродинамические приборы, в отличие от электростатических, имеют высокую чувствительность, но потребляют много энергии. С их помощью измеряют как постоянный, так и переменный токи.

Выведено уравнение шкалы для обоих типов приборов.

Ключевые слова: измерительный прибор, электромметр, электродинамический амперметр и вольтметр, уравнение шкалы, крутящий момент.

PROBLEM TASKS ON ELECTROSTATIC AND ELECTRODYNAMIC-TYPE MEASURING DEVICES

S. Mayilyan, G. Avetyan

Russian-Armenian University

Armenian National Agrarian University

sos.mailyan@mail.ru

ABSTRACT

Teaching by electrostatic and electrodynamic-type measuring devices is introduced as a solution for a problem task by teacher-pupil question-answers. The structure and the operation principle are presented. It is shown, that although the electrostatic devices possess small sensitivity, due to an almost infinite resistance, do not consume current at all. The potential difference between the rod and metallic body is measured with this device. The electrodynamic devices, on the contrary, consume much power due to great measuring accuracy and measure both the power of both direct and alternating current (or voltage). The scale equations are derived for both types of devices.

Keywords: measuring device, electrometer, electrodynamic amperemeter, electrometer and voltmeter, scale equation.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ ФТОРФОСФАТНЫХ СТЕКОЛ В КАЧЕСТВЕ АКТИВНЫХ ДОБАВОК В СИНТЕТИЧЕСКИЕ ШЛИФОВАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

М.А. Погосян

Российско-Армянский университет

m_pogosyan@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В данной статье показана эффективность замены части органической связки шлифовальных инструментов легкорастворимым щелочнофторфосфатным стеклом. Это позволяет устранить процесс «засаливания» инструмента и увеличивать производительность процесса шлифования.

Ключевые слова: шлифовальный инструмент, засаливание, щелочнофторфосфатное стекло, органическая связка.

Введение

В различных областях техники широко применяется процесс шлифовки деталей из стекла, керамики, полупроводниковых и других материалов с целью доводки их размеров к требуемым значениям или подготовки поверхности к процессу полировки.

Шлифовка и полировка стекол представляет собой сложный физико-химический процесс, теория которого была разработана академиком И.В. Гребенчиковым [1]. Однако, несмотря на важное значение процесса подготовки поверхности изделий в различных областях техники (оптическая и полупроводниковая техника, производство ферритов и т.д.) методом шлифовки, его теория не получала должного развития. Только в последние десятилетия благодаря быстрому развитию солнечной полупроводниковой энергетики, где требуется очень тщательная механическая обработка поверхности кремниевых пластин, ста-

ла дальше развиваться и теория шлифовки и полировки различных материалов.

Процесс шлифовки рассматривается как два различных процесса воздействия на материал: механическое – с помощью кристаллических зерен абразива, и химическое – в котором участвуют продукты разрушения абразивного инструмента и шлифуемого материала в водной среде. Во всех случаях важным является состояние рабочей поверхности абразивного инструмента. Для его оценки важное значение имеет состав и технология изготовления инструмента. В настоящей работе рассмотрено поведение шлифовального инструмента, изготовленного из абразивного порошка (в большинстве случаев это карбид кремния) и различных органических связок [2, 3] (поливинилхлорид, глифталевая смола и т.д.).

При применении инструментов с органической связкой возникают некоторые нежелательные трудности. Одной из этих трудностей является «засаливание» инструмента после некоторого времени работы, что резко снижает его производительность. Процесс «засаливания» связан с тем, что в течение работы поверхностный слой абразива изнашивается и уходит. Далее оставшиеся места заполняются органической связкой (органическая связка нагревается от трения, расплавляется и заполняет освобожденные от абразивов пустоты) [4], которая сглаживается и препятствует участию глубинных зерен в процессе шлифования. Для устранения нежелательных процессов препятствующих эффективному и высокопроизводительному шлифованию материалов, предлагается вводить в состав инструментов различные активные компоненты [5, 6].

Для устранения или сведения к минимуму явлений «засаливания» и интенсификации процесса шлифования нами предложено часть органической связки шлифовального инструмента заменить химически малостойким легкоплавким, щелочнофторфосфатным стеклом, которое, растворяясь в процессе шлифовки, позволило бы обнажать свежую поверхность абразива и, тем самым, противодействовать этому нежелательному явлению. Одновременно положительную роль могут играть и агрессивные продукты растворения стекла в воде в процессе шлифования.

С этой целью был изготовлен ряд шлифовальных инструментов и исследованы их рабочие характеристики.

Материал и методы

Шлифованию подвергались образцы свинцового хрустала диаметром 110 мм, состава (вес.%): SiO_2 – 58,0; Na_2O – 1,0; K_2O – 14,5; PbO – 24,0; V_2O_5 – 1,0; ZnO – 1,0; As_2O_3 – 0,5.

Производительность процесса шлифования (потери веса шлифуемого стекла в граммах за 10 минут шлифования) и износ шлифовальника (потери массы в граммах за час работы с единицы поверхности) определялись на станке типа ШП-3-350. Диаметр шлифовальника – 75 мм. Средняя глубина выколок шлифованной поверхности (R_a , мкм) определялась с помощью профилографа-профилометра «Калибр» модели 201.

В качестве активной добавки в шлифовальные инструменты использовалось стекло состава $0,3\text{LiF} \cdot 0,7\text{NaPO}_3$. Стекло указанного состава было сварено в печи с карбидкремниевыми нагревателями при температуре 1000°C в тигле из стеклоглуглера в защитной атмосфере сухого аргона из материалов квалификации «Ч» и «ХЧ». Полученный расплав стекла отливался на холодную металлическую плиту. Помол полученного стекла производился в фарфоровой мельнице с шарами из корунда до средних размеров частиц 30–60 мкм.

Шлифовальный инструмент был изготовлен по известной технологии путем горячего прессования тщательно перемешанных исходных компонентов абразива, органической связки и стекла.

Таблица 1.

Составы и рабочие характеристики синтетических шлифовальников*.

№ инструмента	Состав инструмента, вес.%				Съем стекла, г/10мин.	R_a , мкм	Износ инструмента, г/см ² · час
	ПХВ-35	SiC №4**	карболит	стекло № 74			
1	14,0	82,5	3,5	-	1,0	0,45	0,17
2	12,63	73,68	3,16	10,53	1,38	0,36	0,66
3	11,40	66,7	2,9	19,0	1,76	0,24	0,87
4	9,6	56,0	2,4	32,0	1,65	0,30	1,73
5	8,28	48,28	2,07	41,37	1,40	0,31	2,04

* Расход воды составил 4-6 мл/мин, давление на шлифовальный инструмент – 0,180 кг/см².

** Размер зерен карбида кремния составляет 40-50 мкм.

В Табл. 1. представлены составы и рабочие характеристики синтетических шлифовальников на основе поливинилхлоридной связки с наполнителем карболита и стекла состава $0,3\text{LiF} \cdot 0,7\text{NaPO}_3$. Данные Табл. 4.5. показывают, что максимум производительности достигается при содержании стекла около 20 вес.%. При этом обеспечивается и высокая чистота поверхности шлифуемого образца. Далее производительность падает ввиду того, что с введением стекла уменьшается механическая прочность инструмента, на что указывает резкое увеличение его износа. Увеличение производительности процесса шлифовки можно связать с растворением стекла в процессе шлифовки и освобождением свежих поверхностей абразива, которые вступают в работу. Освобождающийся абразив в виде суспензии также продолжает участвовать в процессе шлифовки. Кроме сказанного, надо отметить и возможное химическое воздействие продуктов растворения стекла состава $0,3\text{LiF} \cdot 0,7\text{NaPO}_3$ на шлифуемое стекло.

Таблица 2.

Рабочие характеристики синтетических шлифовальников на основе глифталиевой связки и стекла состава $0,3\text{LiF} \cdot 0,7\text{NaPO}_3$.

№ инстр.	Состав инструмента, вес.%					Объем. вес. инстр., г/см ³	Съем стекла, г/10м ин.	R _a , мкм	Износ инстр., г/см ² · час
	глифталь	бакелит	глицерин	SiC №4	ст. №74				
1	25	-	-	75	-	2,4	0,35	0,28	0,13
2	11,5	1,4	1,4	71,5	14,2	1,72	1,56	0,79	0,58
3	-"	-"	-"	-"	-"	1.9	2.11	0.92	0.48
4	-"	-"	-"	-"	-"	2.10	2.62	0.70	0.35

На основании полученных данных на основе глифталиевой связки был изготовлен ряд инструментов с изменяющимся объемным весом. Результаты, приведенные в Табл. 2, показывают резкое увеличение производительности процесса шлифовки как при введении стекла состава $0,3\text{LiF} \cdot 0,7\text{NaPO}_3$, так и при увеличении объемного веса инструментов.

Производительность инструмента № 4 примерно в 7,5 раз превосходит производительность исходного инструмента, не содержащего стекла состава $0,3\text{LiF} \cdot 0,7\text{NaPO}_3$.

Естественно, данные таблиц еще не являются окончательными для создания крупногабаритных инструментов в производстве. Однако полученные первые результаты свидетельствуют о перспективности применения в качестве активной добавки легкорастворимого щелочнофторфосфатного стекла в состав синтетических шлифовальных инструментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гребенщиков И.В., Власов А.Г., Непорент Б.С., Суйковская Н.В.* Просветление оптики. Уменьшение отражения света поверхностью стекла / Под ред. акад. И.В. Гребенщикова. М. Л.: ОГИЗ. 1946. 212 с.
2. *Лецинский Д.А.* Автореферат дисс. на соискание ученой степени к.т.н., Л., 1967. 15 с.
3. *Евстропьев К.С., Лецинский Д.А., Медведева Г.В.* Стекло и керамика, № 3, 1972, СС. 28–30.
4. *Бишутин С.Г., Тюльпинова Н.В.* Прогнозирование тепловыделения в контактной зоне заготовки и круга с учетом его изнашивания. В журнале «Вестник БГТУ». 2007. № 2. СС. 4–9.
5. *Митрофанов А.П.* Повышение эффективности шлифования путём импрегнирования абразивного инструмента веществами из класса порофоров. Автореферат дисс. На соискание уч. ст. к.т.н., Волгоград, Волгоградский государственный технический университет, 2012. 16 с.
6. *Рябцев С.А.* Разработка абразивного инструмента с повышенной структурностью и управляемой пористостью для высокопроизводительного шлифования фасонных поверхностей деталей из труднообрабатываемых материалов. Автореферат дисс. На соискание уч. степени доктора технических наук. М.: Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», 2011. 45 с.

FLUORINE USING ALKALINE FLUOROPHOSPHATIC GLASSES AS ACTIVE ADDITIVES IN SYNTHETIC GRINDING TOOLS

M. Poghosyan

Russian-Armenian University

m_pogosyan@mail.ru

ABSTRACT

Efficiency of replacement of the part of organic binder for grinding tools by readily soluble alkaline fluorophosphatic glass was shown in the article. This allows to eliminate the process of salting and increase the productivity of grinding process.

Keywords: grinding tools, salting, alkaline phosphate fluoride glass, an organic binder.

ԱԼԿԱԼԻ ՖՏՈՐՖՈՍՖԱՏՍՈՒՅԻՆ ԱՊԱԿԻՆԵՐԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ՈՐՊԵՍ ԱԿՏԻՎ ՀԱՎԵԼՈՒՄ ՀՂԿՈՂ ԳՈՐԾԻՔՆԵՐԻ ՄԵՁ

Մ. Ա. Պողոսյան

Հայ-Ռուսական համալսարան

m_pogosyan@mail.ru

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքում ցույց է տրված հղկող գործիքներում օրգանական կապակցիչի մի մասը ալկալի ֆտորֆոսֆատային լուծելի ապակով փոխարինման էֆեկտիվությունը: Դա թույլ է տալիս ազատվել գործիքի «աղակալումից» և մեծացնել հղկման պրոցեսի արտադրողականությունը:

Հիմնաբառեր՝ հղկող գործիք, աղակալում, ալկալի ֆտորֆոսֆատային ապակի, օրգանական կապակցիչ:

CYSTATIN 3 GENE RS 3827143 POLYMORPHISM AS A PROTECTIVE FACTOR FOR SCHIZOPHRENIA

*V. Hayrapetyan, L. Karapetyan, R. Wyman,
R. Zakharyan, A. Arakelyan*

*Institute of Molecular Biology of the National Academy
of Sciences of the Republic of Armenia
Russian-Armenian University
University of Arizona*

luizakarapetyan29@gmail.com, r_zakharyan@mb.sci.am

ABSTRACT

Schizophrenia (SCZ) is a severe mental disease. Despite a number of studies performed in the field of schizophrenia research, the molecular mechanisms of the disorder are still unclear. Previous studies including our own have demonstrated that alterations in immune response are contributory factors for schizophrenia. Cystatins are large group of proteins with diverse biological activities including immune response. The aim of the current study was to investigate the potential association of SCZ with rs3827143 single nucleotide polymorphism (SNP) of the gene (*CST3*), encoding cystatin-3 protein. A total of 231 unrelated individuals of Armenian nationality (121 SCZ patients and 110 healthy controls) were genotyped using polymerase chain reaction with sequence-specific primers (PCR-SSP). According to the data obtained, the frequency of the *CST3* rs3827143*G allele was significantly lower in the group of SCZ patients compared to controls ($p=0.0005$, $OR=0.52$, $95\%CI: 0.36-0.76$). The same tendency was found for the carriage of the *CST3* rs3827143*G minor allele ($p=0.0024$, $95\%CI: 0.39-0.73$). These data suggested that the *CST3* rs3827143*G genetic variant can be considered as a protective factor against SCZ development, at least in Armenian population.

Keywords: Cystatin 3, single nucleotide polymorphism, PCR-SSP, schizophrenia

Introduction

Schizophrenia (SCZ) is a severe mental disease affecting about 1% of general population and characterized by delusions, hallucinations, and cognitive impairment [1]. Despite a number of studies performed in the field of schizophrenia research, the molecular mechanisms of the disorder are still unclear [2]. Taken into account that efficient treatment strategies for this disease have not developed yet, molecular genetic studies of patients with schizophrenia are of special interest and importance.

Previous studies including our own have demonstrated that alterations in immune response are contributory factors for SCZ [3–8]. Namely, the crucial role of several cytokines, chemokines, complement system components and receptors at both genetic and molecular levels has been observed [3–8]. Cystatins can be considered as target proteins having potential contribution to SCZ development. Indeed, cystatins are large group of proteins with diverse biological activities [9–11]. In particular, it has been shown that these proteins are supposed to have inhibitory functions for lysosomal cysteine proteases, are involved in the immune response by processing and presentation of antigens, apoptosis as well as in a number of pathological conditions such as inflammation, neurodegeneration and cancer [9–11].

The present study was aimed to investigate the potential association of the rs3827143 single nucleotide polymorphism (SNP) of the gene (*CST3*), encoding cystatin-3 protein. Importantly, this is the first study focused on genetic analysis of the *CST3* gene in SCZ in any population.

Materials and methods

This study was performed in the Laboratory of Human Genomics and Immunomics after Prof. A.S. Boyajyan at the Institute of Molecular Biology of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia (NAS RA). In this study 121 patients with chronic SCZ patients and 110 were enrolled. Patients were recruited from the clinics of the Psychiatric Medical Center of the Ministry of Health of the Republic of Armenia (MH RA). All patients, diagnosed as paranoid schizophrenics by two independent experienced psychiatrists, were treated with typical and/or atypical antipsychotics. Healthy subjects served as a reference controls were recruited

among the blood donors of the Erebouni Medical Center MH RA with no family, past or present history of any mental disorder and were not subjected to any medical treatment known to affect the brain. Exclusion criteria for all study subjects included any serious neurological, endocrine, oncological, inflammatory, autoimmune, cerebrovascular, cardiovascular, metabolic or other disorder. All study subjects were unrelated individuals of Armenian nationality. All study subjects gave their informed consents to participate in the study, which was approved by the Ethical Committee of the Institute of Molecular Biology of the National Academy of Sciences RA (IRB #00004079).

Ten ml of the venous blood was collected from each patient and healthy subject. EDTA was used as anticoagulant. Genomic DNA was isolated according to the standard phenol-chloroform method [12] and stored at -30°C until further use.

All DNA samples of patients with SCZ and controls were genotyped for the selected SNPs using polymerase chain reaction with sequence-specific primers (PCR-SSP) under the conditions described elsewhere [13]. The sequences of specific primers were designed according to the GenBank sequence (GenBank ID: 339302) for allele discrimination. The following primers were used: 5'-GAG-GTG-TGA-TTC-CAG-AGG-CCA-3' for major *CST3* rs3827143A allele, 5'-GAG-GTG-TGA-TTC-CAG-AGG-CCG-3' for minor *CST3* rs3827143*G allele, 5'-CCT-GCA-ATG-TAG-TGT-CCA-TG-3' as a constant primer to stop the amplification reaction.

The presence/absence of allele-specific amplicons was visualized by electrophoresis in 2% agarose gel stained with ethidium bromide fluorescent dye.

Distributions of genotypes for the *CST3* rs3827143 SNP were checked for correspondence to the Hardy-Weinberg equilibrium in both patients and controls. To reveal a potential association of this polymorphism with SCZ, its genotypes, alleles (genes), and phenotype frequencies (carriage rates) in patients and controls were compared. The significance of differences between allele and phenotype frequencies in study groups was determined using Pearson's Chi-square test. The odds ratio (OR), 95% confidence interval (CI), and Pearson's p-value were calculated.

Results and conclusion

The allele and phenotype frequency of the studied genetic variant in the groups of SCZ patients and controls are shown in Table 1.

Table 1. Distribution of *CST3* rs3827143 genotypes, frequency and carriage of the mutant allele in patients with SCZ and controls. The data is given as absolute numbers with proportions in parentheses.

Gene SNP	Genotypes			Alleles		Carriers
	AA	AG	GG	A	G	G
<i>CST3</i> rs3827143						
SCZ	45 (0.37)	49 (0.40)	27 (0.23)	139 (0.57)	103 (0.43)	76 (0.63)
Controls	21 (0.19)	49 (0.45)	40 (0.36)	91 (0.41)	129 (0.59)	89 (0.81)
p					0.0005	0.0024
OR					0.52	0.52
95% CI					0.36-0.76	0.39-0.73

A total of 231 DNA samples (obtained from 121 chronic SCZ patients and 110 controls) were genotyped. The distributions of genotypes for the *CST3* rs3827143 SNP in both groups were in accordance to Hardy-Weinberg equilibrium ($p > 0.05$).

According to the results obtained, the frequency of the *CST3* rs3827143*G allele was significantly lower in the group of SCZ patients compared to controls ($p=0.0005$, OR=0.52, 95%CI: 0.36-0.76). The same tendency was found for the carriage of the *CST3* rs3827143*G minor allele ($p=0.0024$, 95%CI: 0.39-0.73).

Results of the current study showed that *CST3* rs3827143 SNP is overrepresented in the group of controls compared to SCZ patients compared. This fact means that the presence of the studied rs3827143*G genetic variant can have a protective effect against SCZ development so that leading to less probability to develop this disease during the lifetime compared to the subjects having major allele of this polymorphism.

According to the data from the National Center for Biotechnology Information database (www.ncbi.nlm.nih.gov/snp) based on the findings

from 1000 Genomes project, the *CST3* rs3827143*G minor allele frequency varied from 0.08 to 0.39 depending on population. Thus, it is equal to 0.12 for East Asian population, to 0.19 for Africans, and is the highest for Gujarati Indians in Houston (0.39). For controls, the results of our study suggested even higher frequency among healthy individuals, equal to 0.59.

Unfortunately, up to date there is no published data on the role of any genetic variant of the *CST3* in SCZ and any other neurodevelopmental disorder. There is some limited data concerning the role of this SNP in neurodegenerative disorders especially Alzheimer's disease. Also, the precise contributory mechanism of this protein seems undetermined. Most probably it is due to immune system mediating processes.

Further studies with more genes regulating synaptic plasticity are required to clarify the role of genes of complexin family in SCZ.

REFERENCES

1. World Health Organization. http://www.who.int/mental_health/en/
2. *Gejman P.V.*, et al. Genetics of schizophrenia: new findings and challenges. *Annu Rev Genomics Hum Genet* 2011; 12. PP. 121–144.
3. *Zakharyan R.*, et al. Association of C1QB gene polymorphism with schizophrenia in Armenian population. *BMC Medical Genetics* 2011; 12(1):126.
4. *Zakharyan R.*, et al. Interleukin-6 promoter polymorphism and plasma levels in patients with schizophrenia. *Tissue Antigens* 2012; 80(2). PP. 136–142.
5. *Zakharyan R.*, et al. Monocyte chemoattractant protein-1 in schizophrenia: 2518A/G genetic variant and protein levels in Armenian population. *Cytokine* 2012; 58(3). PP. 351–354.
6. *Boyajyan A.*, et al. Chapter XI. Molecular and genetic indicators of aberrant immunity and apoptosis in schizophrenia In: *Schizophrenia research: Recent advances* (Editor: T. Sumiyoshi), Nova Science Publishers Inc., USA, 2012. PP. 183–240.
7. *Zakharyan R.*, et al. Inflammatory cytokine network in schizophrenia. *World J Biol Psychiatry* 2014; 15(3). PP 174–187.

8. *Müller N.* Immunology of schizophrenia. *Neuroimmunomodulation.* 2014;21(2–3). PP. 109–116.
9. *Honey K., Rudensky A.Y.* Lysosomal cysteine proteases regulate antigen presentation. *Nat. Rev. Immunol.* 2003; 3. PP. 472–482.
10. *Turk V., Turk B., D. Turk D.* Lysosomal cysteine proteases: facts and opportunities. *EMBO J.* 2001; 20. PP. 4629–4633.
11. *Kos J., Lah TT.* Cysteine proteinases and their endogenous inhibitors: target proteins for prognosis, diagnosis and therapy in cancer. *Oncol. Rep.* 1998; 5. PP. 1349–1361.
12. *Sambrook J., et al.* *Molecular Cloning: A Laboratory Manual* 2001, 3rd ed., chapter 8. Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York.
13. *Bunce M., et al.* Phototyping: comprehensive DNA typing for HLA-A, B, C, DRB3, DRB4, DRB5&DQB1 by PCR with 144 primer mixes utilizing sequence-specific primers (PCR-SSP). *Tissue Antigens* 1995; 6. PP. 355–367.

ПОЛИМОРФИЗМ RS3827143 ГЕНА ЦИСТАТИНА 3 КАК ПРОТЕКТОРНЫЙ ФАКТОР ОТ ШИЗОФРЕНИИ

В. Айрапетян, Л. Карапетян, Р. Виман, Р. Захарян, А. Аракелян

*Институт молекулярной биологии НАН РА
Российско-Армянский университет
Университет Аризоны*

luizakarapetyan29@gmail.com, r_zakharyan@mb.sci.am

АННОТАЦИЯ

Шизофрения (ШФ) – тяжелое психическое заболевание. Несмотря на ряд исследований, выполненных в данной области, молекулярные механизмы ШФ пока частично описаны. Прежние исследования, включая наши собственные данные, свидетельствуют о вовлечении нарушений иммунной системы в развитие ШФ. Цистатины представляют собой семейство белков, выполняющих различные биологические функции, включая участие в иммунном ответе.

Цель данной работы – исследовать возможную ассоциацию ШФ с однонуклеотидным полиморфизмом rs3827143 гена *CST3*, кодируемого белок цистатин 3. Всего в исследование были вовлечены 231 армян (121 больных ШФ и 110 здоровых лиц), для которых было проведено генотипирование методом полимеразной цепной реакции с аллель-специфичными праймерами (PCR-SSP). Согласно полученным данным, минорная аллель rs3827143*G гена *CST3* была выше у здоровых лиц по сравнению с больными ШФ ($p=0.0005$, $OR=0.52$, $95\%CI: 0.36-0.76$). Подобная тенденция была получена и для числа носителей минорной аллели *CST3* rs3827143*G ($p=0.0024$, $95\%CI: 0.39-0.73$). Эти данные указывают на то, что исследованный генетический вариант rs3827143*G гена *CST3* может играть протекторную роль для ШФ, по крайней мере, для армянской популяции.

Ключевые слова: цистатин 3, однонуклеотидный полиморфизм, полимеразная цепная реакция с аллель-специфичными праймерами, шизофрения.

ՑԻՍՏԱՏԻՆ 3 ԳԵՆԻ RS3827143 ՊՈԼԻՄՈՐՖԻԶՄԸ ՈՐՊԵՍ ՇԻԶՈՖՐԵՆԻԱՅԻ ՊԱՇՏՊԱՆԻՉ ԳՈՐԾՈՆ

*Վ. Հայրապետյան, Լ. Կարապետյան, Ռ. Վիման,
Ռ. Զախարյան, Ա. Առաքելյան*

*ՀՀ ԳԱԱ Մոլեկուլային կենսաբանության ինստիտուտ
Հայ-Ռուսական համալսարան
Արիզոնայի համալսարան*

luizakarapetyan29@gmail.com, r_zakharyan@mb.sci.am

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Շիզոֆրենիան (ՇՖ) ծանր հոգեկան հիվանդություն է: Չնայած այդ ոլորտում իրականացված մի շարք հետազոտությունների, հիվանդության մոլեկուլային մեխանիզմները մասամբ են պարզաբանված: Նախկինում կատարված աշխատանքները, ներառյալ մեր կողմից ստացված տվյալները վկայում են ՇՖ-ի զարգացման մեջ իմունային համակարգի խախտումների կարևոր դերի մասին: Ցիստատինները տարբեր կենսաբանական ֆունկցիաներ կատարող սպիտակուցների ընտանիք են, որոնք, մասնավոր-

րապես, մասնակցում են իմունային պատասխանին: Տվյալ աշխատանքի նպատակն էր ուսումնասիրել ՇՖ-ի հնարավոր ասոցիացիան ցիստատին 3 կոդավորող *CST3* գենի rs3827143 կետային նուկլեոտիդային պոլիմորֆիզմի հետ: Աշխատանքի մեջ ներգրավված 231 անձ (121 ՇՖ-ով հիվանդներ և 110 առողջ անձինք) գենոտիպավորվել են ալել-յուրատիպ պրայմերներով պոլիմերազային շղթայական ռեակցիայի (PCR-SSP) օգնությամբ: Համաձայն ստացվախ տվյալների, *CST3* rs3827143*G միևնույն ալելի հաճախությունն ավելի բարձր էր առողջների խմբում հիվանդների համեմատությամբ ($p=0.0005$, $OR=0.52$, $95\%CI: 0.36-0.76$): Նման օրինաչափություն էր ստացվել նաև միևնույն ալել կրողների թվի համար ($p=0.0024$, $95\%CI: 0.39-0.73$): Այսպիսով, ստացված տվյալները վկայում են, որ *CST3* rs3827143*G գենետիկական վարիանտը կարող է հանդիսանալ ՇՖ-ի պաշտպանիչ գործոն առնվազն հայկական պոպուլյացիայում:

Հիմնաբառեր` Ցիստատին 3, կետային նուկլեոտիդային պոլիմորֆիզմ, ալել-յուրատիպ պրայմերներով պոլիմերազային շղթայական ռեակցիա, շիզոֆրենիա:

IN VITRO ИНГИБИРОВАНИЕ ВИРУСА АФРИКАНСКОЙ ЧУМЫ СВИНЕЙ ПОСРЕДСТВОМ ВОДОРАСТВОРИМЫХ АНАЛОГОВ ПЕРИЛЕНОВЫХ НУКЛЕОЗИДОВ*

А. Акопян, Э.А. Арабян, О.С. Закарян

АННОТАЦИЯ

В данной статье демонстрируется антивирусная активность водорастворимых периленовых нуклеозидных аналогов против Вируса африканской чумы свиней (ВАЧС). Уже клинически апробированы многие нуклеозидные аналоги, имеющие антивирусный потенциал (антиретровирусные, противогерпетические препараты и т.д.). В работе протестировано 8 периленовых водорастворимых нуклеозидных аналога. Из восьми аналогов 1 был токсичным и был исключен из последующих этапов исследования. Из оставшихся 7 соединений 2 показали антивирусный эффект и были исследованы на подавление вируса во время связывания, проникновения – в зависимости от времени инфекции. Значительный эффект веществ был проявлен при проникновении вируса в клетку. Титр вируса снижался в 1000 раз. После проникновения вируса в клетку, на поздних стадиях репликации, вещества слабо действовали на снижение титра вируса.

Ключевые слова: вирус африканской чумы свиней, периленовые нуклеозидные аналоги, закоривание, интернализация.

* Работа выполнена в Институте Молекулярной биологии НАН РА. Финансирование: работа выполнена при поддержке Гос. комитета по науки РА в рамках проекта «ՀՀ ԿԳՆ ԳՊԿ-ՀՀՌՀ-2015». Коллаборация: Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН – В.А. Коршун, д.х.н.

Введение

Вирус Африканской Чумы Свиней (ВАЧС) является одним из патогенных возбудителей заболевания домашних и диких свиней, клиническое проявление которого – геморрагическая лихорадка со 100%-ной смертностью зараженной популяции свиней. На сегодняшний день нет эффективных вакцин и противовирусных препаратов против ВАЧС [1]. ВАЧС принадлежит роду *Asfivirus*, является дцДНК-содержащим арбовирусом, патогенным для животных. Мишенями ВАЧС в организме животного являются клетки моноцитарно-макрофагальной природы, в которых и возникает цитопатическое действие вируса посредством некроза и апоптоза [4]. Лечение данного заболевания представляет собой огромную экономическую значимость [1].

Хотя вирус не заражает человеческий организм, эрадикация вируса необходима для предотвращения зоонозной трансмиссии вируса в соседние фермы при перевозке мяса. На сегодняшний день нет эффективных средств профилактики (вакцина). Поэтому исследование противовирусных препаратов имеет важное значение. В терапии ВАЧС *in vitro* исследования указали на перспективность применения растительных экстрактов или очищенных из экстрактов соединений (ресвератрол, апигенин, генистеин), кИРНК, которая подавляет экспрессию существенных для вируса генов, употребление рекомбинантных противовирусных агентов – таких, как ИФН альфа. ИФН альфа-мощный противовирусный агент, под влиянием которого экспрессируются интерферон-стимулируемые гены, непосредственно подавляющие разные фазы вирусной инфекции, вакцин, нуклеозидных аналогов, которые блокируют репликацию вируса, а также проникновение вируса в клетку [1, 9, 2, 7].

На оболочковых (сложных) вирусах было выявлено неклассическое влияние нуклеозидных аналогов на этапе проникновения вируса в клетку, блокируя связывание (*binding*) и фузию (*internalization*). Описано двухэтапное проникновение оболочкового вируса в клетку: фузия через плазматическую мембрану и фузия вируса через эндосомы в цитоплазму.

Вирус взаимодействует с рецепторами и проникает через мембрану клетки в эндосомы, а далее в цитоплазму клетки. Для некоторых ви-

русов (Вирус гриппа, гепатита С и т.д.) было показано ингибирование вируса по механизму подавления фузии [9]. 8 нуклеозидных аналога было протестировано эмпирически в нашем исследовании.

Были протестированы (#1) 5-(3-периленилэтинил)-дезоксисуридин, (#2) 5-(3-периленилэтинил)-арабиноуридин (aUY 11), (#3) 5-(3-периленилбутадинил)- арабиноуридин, (#4) N1-(5-(периленилэтинил)-урацил) натрия ацетат (СМ0), (#5) N'-(этан-2'-ол)-(N1-(5-(периленилэтинил)-урацил) ацетамид, (#6) N'-(3'-оксапентан-5'-ол)-(N1-(5-(периленилэтинил)-урацил) ацетамид, (#7) N'-(3',6'-диоксапентан-8'-ол)-(N1-(5-(периленилэтинил)-урацил)ацетамид, (#8) N'-(3',3'-диметилбутан-2',4'-диол)-(N1-(5-(периленилэтинил)-урацил)ацетамид.

Тест цитотоксичности указал на жизнеспособность клеток при их инкубации с веществами в разных концентрациях (Рис. 1).

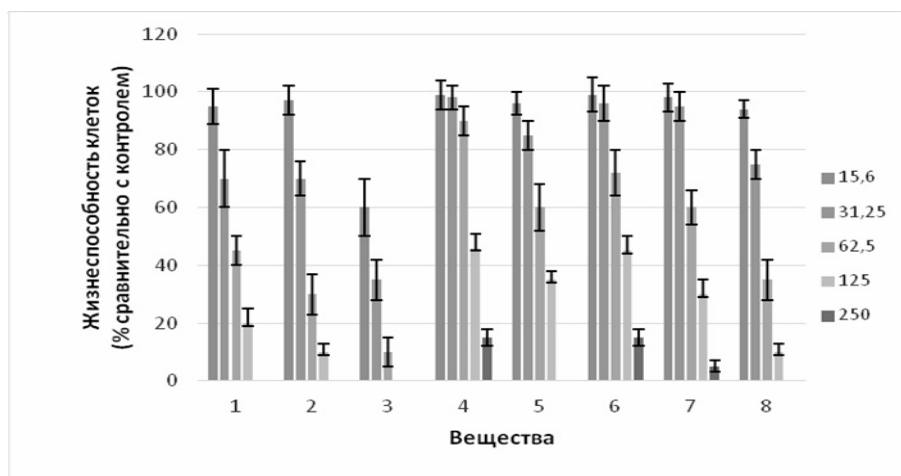


Рис. 1.

Клетки Vero (почек зеленой мартышки) были инкубированы с веществами в течение четырех дней с соответствующими концентрациями: 15.6 μM, 31.25 μM, 62.5 μM, 125 μM, 250 μM. После завершения инкубации клетки были зафиксированы 0,4% кристалловым фиолетом и анализированы колориметрическим методом с целью выявления жизнеспособности клеток. По результатам теста цитотоксичности #3 и #4 было самое и менее токсичное вещество, соответственно.

Все соединения, кроме третьего, были инкубированы с вирусом одновременно 0 hpi. В качестве рабочей концентрации вещество #4 было использовано в концентрации 25 μ M, соединения 1, 2, 5, 6, 7, 8 - в концентрации 10 μ M. Титр вируса был определен по ЦПД. Второе и четвертое (aUY11, CM0) вещество оказались самыми эффективными (Рис. 2).

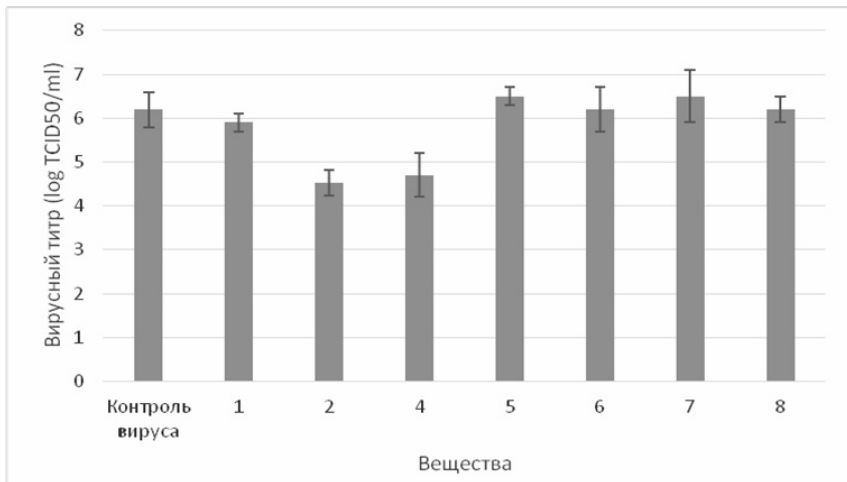


Рис. 2.

Действие тестируемых веществ на вирусный титр. Вещество 3 не тестировано по причине высокой токсичности. Вещества #2 и #4 – самые эффективные, снижают титр около 1000 раз.

Только вещества #2 и #4 использовались в следующих этапах.

Вирусная инфекция инициирует с двух важнейших процессов: заякоривание и проникновение вируса в клетку.

Чтобы проверить, действуют ли на эти два этапа тестируемые вещества, мы проделали тест заякоривания и проникновение вируса в клетку (Рис. 3).

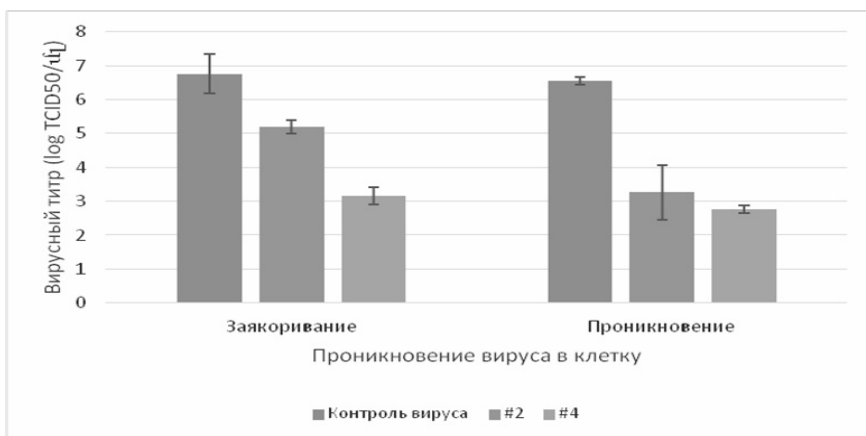


Рис. 3.

Действие тестируемых нуклеозидных аналогов на заякоривание и проникновение ВАЧС по сравнению с контролем вируса. Binding and internalization assay. В первом эксперименте исследуется, действует ли вещество на заякоривание ВАЧС на мембране клетки. Второй показывает, действует ли соединение на проникновение вируса в клетку.

Второе и четвертое соединение были протестированы на противовирусную активность в зависимости от времени после инфекции (2, 4, 8, 12 hpi) и, как видно #2 и #4, действуют на ранние фазы инфекции, что совпадает с заякориванием и проникновением (Рис. 4).

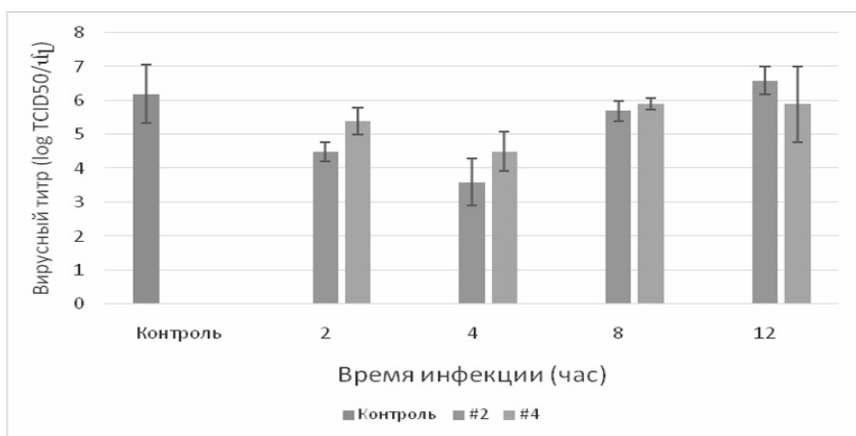


Рис. 4.

Действие веществ на разных этапах инфекции ВАЧС. Time-of-addition assay. Вещества добавляются через 2, 4, 8, 12 часов после инфекции. Супернатант собирается и титруется через 4 дня. #2 и #4 благоприятны в терапевтическом плане.

Выводы

Проект показал, что водорастворимые периленовые нуклеозидные аналоги (#2) 5-(3-периленилэтинил)-арабиноуридин, (#4) N1-(5-(периленилэтинил)-урацил) ацетат натрия, подавляют ВАЧС в момент проникновения вируса в клетку в 1000 раз. На поздних этапах инфекции редукция вирусного титра незначительна. Исследования показали, что вещества 2 и 4 эффективны на ранних этапах инфекции. Их действие на ранние этапы инфекции объясняется их действием на фузию вируса с клеткой, что не исключает классический тип действия (например, возможно ингибитор тимидинкиназы). Блокирование фузии вируса в цитоплазму предотвращает развитие инфекции. Эти вещества перспективны для дальнейшего *in vivo* исследования на свиньях. Данные вещества также могут быть эффективными при подавлении других оболочковых вирусов.

ЛИТЕРАТУРА

1. African swine fever virus: current state and future perspectives in vaccine and antiviral research. Zakaryan H, Revilla Y. *Vet Microbiol.* 2016 Mar 15;185:15–9. doi: 10.1016/j.vetmic.2016.01.016.
2. Apigenin inhibits African swine fever virus infection in vitro. Hakobyan A, Arabyan E, Avetisyan A, Abroyan L, Hakobyan L, Zakaryan H. *Arch Virol.* 2016 Dec;161(12): 3445–3453.
3. International catalogue of arboviruses, including certain other viruses of vertebrates Karabatsos, N. (Ed.). (1985). (3rd ed.). San Antonio, Texas: Am. Soc. Trop. Med. Hyg, The 1986–1995 Supplements to the International Catalogue. CDC Div. Vector-Borne Infect. Dis., Ft. Collins.
4. Pathology of African swine fever: the role of monocyte-macrophage. Gómez-Villamandos JC, Bautista MJ, Sánchez-Cordón PJ, Carrasco

- L.Virus Res. 2013 Apr; 173(1):140-9. doi: 10.1016/j.virusres.2013.01.017. Epub 2013 Jan 29.
5. African swine fever virus-cell interactions: from virus entry to cell survival. Alonso C, Galindo I, Cuesta-Geijo MA, Cabezas M, Hernaez B, Muñoz-Moreno R. Virus Res. 2013 Apr;173(1):42–57. doi: 10.1016/j.virusres.2012.12.006. Epub 2012 Dec 20.
 6. Effect of interferon-alpha, interferon-gamma and tumour necrosis factor on African swine fever virus replication in porcine monocytes and macrophages. Esparza I, González JC, Viñuela E. J Gen Virol. 1988 Dec; 69 (Pt 12): 2973–80.
 7. Comparative inhibitory activity of the stilbenes resveratrol and oxyresveratrol on African swine fever virus replication. Galindo I, Hernaez B, Berná J, Fenoll J, Cenis JL, Escribano JM, Alonso C. Antiviral Res. 2011 Jul;91(1): 57–63. doi: 10.1016/j. antiviral. 2011.04.013. Epub 2011 May 1.
 8. Arboviruses pathogenic for domestic and wild animals. Hubálek Z, Rudolf I, Nowotny N. Adv Virus Res. 2014;89:201–75. doi: 10.1016/B978-0-12-800172-1.00005-7.
 9. 5-(Perylen-3-yl)ethynyl-arabino-uridine (aUY11), an arabino-based rigid amphipathic fusion inhibitor, targets virion envelope lipids to inhibit fusion of influenza virus, hepatitis C virus, and other enveloped viruses. Colpitts CC1, Ustinov AV, Epand RF, Epand RM, Korshun VA, Schang LM. J Virol. 2013 Apr;87(7): 3640-54. doi: 10.1128/JVI.02882-12. Epub 2013 Jan 2.

INHIBITION OF AFRICAN SWINE FEVER VIRUS BY ANTIVIRAL WATER-SOLUBLE PERYLENE NUCLEOSIDE ANALOGUES

A. Hakobyan, E. Arabyan, H. Zakaryan

ABSTRACT

This paper demonstrates antiviral activity of hydrophylic perylene nucleoside analogues against African swine fever virus. There is a large group of clinically approved nucleoside analogues which has antiviral potential (among them

antiretroviral, antiHSV drugs etc). 8 nucleoside analogues were tested in this research project, one of them was highly toxic for cell culture and was excluded from further experiment, 2 of them showed antiviral activity and where tested on binding, internalization and post-infection assays. Viral titer decreased 1000-fold when viruses were entering the cell. After internalization the potential of compounds was not significant.

Keywords: african swine fever virus, perylene nucleoside analogues, binding, internalization.

**ԽՈՋԵՐԻ ԱՖՐԻԿՅԱՆ ԺԱՆՏԱԽՏԻ ՎԻՐՈՒՄԻ ՃՆՇՈՒՄԸ
ՀԱԿԱՎԻՐՈՒՄՅՅԻՆ ՋՐԱԼՈՒԾ ՊԵՐԻԼԵՆ ՆՈՒՎԼԵՈԶԻԴՅԱՅԻՆ
ԱՆԱԼՈԳՆԵՐՈՎ**

Ա. Հակոբյան, Է. Արաբյան, Հ. Ջաքարյան

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Այս աշխատանքում մեր կողմից փորձարկվել է ութ նուկլեոզիդային անալոգ: Տոքսիկության որոշման ընթացքում պարզվել է, որ դրանցից մեկը չափազանց տոքսիկ է, հետևաբար այն չի ներառվել հակավիրուսային ուսումնասիրությունների մեջ: Փորձարկվող յոթ նյութերից երկուսի մոտ հայտնաբերվել է հակավիրուսային ակտիվություն: Մեխանիզմների ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ այդ նյութերը նվազեցնում են վիրուսի քանակը շուրջ 1000 անգամ, երբ դրանք տրվում են վիրուսի բջիջ ներթափանցման պահին: Նյութերի հակավիրուսային ակտիվությունը ավելի թույլ է արտահայտված, երբ դրանք տրվում են ԽԱԺՎ ռեպլիկացիայի ավելի ուշ փուլերում:

Հիմնաբառեր՝ խոզերի աֆրիկյան ժանտախտի վիրուս, պերիլենային նուկլեոզիդային անալոգներ, խարսխում, ներթափանցում:

ՔՐՈՄՈՍՈՍ 21՝ «ԵՎԳԵՆԻԿԱ»

Ա. Ամիրջանյան, Ա. Մ. Հովհաննիսյան

Երևանի Պետական Համալսարանի Ֆարմացիայի իստիտուտ

aneta.amirjanyan@inbox.ru

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Եվգենիկան համարվում է գենետիկայի մի բաժին: Այն ուսմունք է մարդկային ցեղի՝ նրա ժառանգական հատկանիշների լավացման մասին: Եվգենիկայի հետապնդման նպատակներն էին.

- ❖ «օգտակար գեների» ժառանգման հնարավորության խթանում,
- ❖ սերունդների գենետիկական մաքրության ապահովում,
- ❖ «ոչ օգտակար գեների» ժառանգման հնարավորության սահմանափակում և արգելում,
- ❖ ամուսնական զույգերի ընտրության պլանավորում,
- ❖ քաղաքական շահերի հետապնդում:

Եվգենիկան ավտոսելեկցիա է, որի հիմքում ընկած է իդեալականության գաղափարը:

Հիմնաբառեր՝ օգտակար գեներ, դիսկրիմինացիոն եվգենիկա, ռեպրեսիոն եվգենիկա, վերարտադրողական կլոնացում:

Ներածություն

Մարդու գենոմում ամենավոքոր քրոմոսոմը 21-րդն է: 21-րդ քրոմոսոմը պարունակում է ամենաքիչ թվով գեներ (սեռական քրոմոսոմներից հետո) և այդ քրոմոսոմը միակն է, որի լրացուցիչ պատճենը չի բերում էմբրիոնի վախճանին: Մյուս բոլոր դեպքերում յու-

րաքանչյուր սումատիկ քրոմոսոմի լրացուցիչ պատճենի առաջացումը բերում է այնպիսի դիսբալանսի, որը առաջացնում է էմբրիոնի մահ: Երբեմն երեխաները ծնվում են 13-րդ կամ 18-րդ քրոմոսոմի լրացուցիչ պատճենով, բայց մի քանի օրից մահանում են: Իսկ լրացուցիչ 21-րդ քրոմոսոմի պատճեն ունեցողները ընդունակ են ապրելու և ապրում են երկար տարիներ: Յուրաքանչյուր անհատ ունի որոշակի գեների ամբողջականություն, որոնք նոր համակցությունների ձևով փոխանցում են պտղին: Հղիության 10–14-րդ շաբաթների ընթացքում կատարում են պտղի ուլտրաձայնային հետազոտություն և արյան կենսաքիմիական անալի, որի նպատակն է պտղի մոտ պաթոլոգիաների բացահայտումը:

Եթե կասկածում են որոշակի շեղումների առկայությանը՝ կատարում են ամնիոցենտեզ՝ պտղաջրերի բջիջների անալիզ: Այն կատարվում է հղիության 15–18-րդ շաբաթում:

Գենետիկական անալիզի հիմնական նպատակն է, իսկ էմբրիոնը՝ որն ունի լրացուցիչ 21-րդ քրոմոսոմ՝ առաջնային գոհր: Եթե հայտնաբերվում է սինդրոմը՝ ապա կնոջը խորհուրդ են տալիս ընդհատել հղիությունը: Այս հանգամանքը կարելի է համարել ինչպես թերահաս երեխայի լույս աշխարհ գալը կանխելու հրաշալի միջոց, այնպես էլ կենդանի էակի սպանություն, անվանելով որպես մարդկային ռասայի մաքրության և առողջության պահպանում: Եվ գենետիկական դիագնոստիկական կարելի է համարել եվգենիկայի գաղափարի իրականացում:

Եվգենիկայի ծնունդը

Եվգենիկան համարվում է գենետիկայի մի բաժին: Այն ուսմունք է մարդկային ցեղի՝ նրա ժառանգական հատկանիշների լավացման մասին: Եվգենիկայի խնդիրն է ազդել մարդու էվոլյուցիայի վրա, կատարելագործել նրա բնույթը, նպաստել տաղանդի ժառանգ-

մանը և հնարավորին չափ սահմանափակել ժառանգական հիվանդությունների փոխանցումը հետագա սերունդներին: Դա հիմնականում կատարվել է ստերջացման, աբորտների միջոցով և որի նպատակն է եղել մարդու գենետիկական մաքրության հաստատումը:

Եվգենիկայի խնդիրները

Այսպիսով եվգենիկայի հետապնդման նպատակներն էին.

- ❖ «օգտակար գեների» ժառանգման հնարավորության խթանում,
- ❖ սերունդների գենետիկական մաքրության ապահովում,
- ❖ «ոչ օգտակար գեների» ժառանգման հնարավորության սահմանափակում և արգելում,
- ❖ ամուսնական զույգերի ընտրության պլանավորում,
- ❖ քաղաքական շահերի հետապնդում:

Եվգենիկան ավտոսելեկցիա է, որի հիմքում ընկած է իդեալականության գաղափարը: Այն ունեցել է հետևյալ ձևերը.

1. *Գենսաբժշկական* – միջամտություն պոպուլյացիոն մեխանիզմների մեջ առողջության պահպանման նպատակով:

2. *Դիսկրիմինացիոն (խտրականություն) եվգենիկա* – ունի երկու ճյուղ բացասական և դրական: Բացասական ճյուղն այն էր, որ գենետիկական բժշկություն էր կիրառվում տարբեր սոցիալական խմբերի, անհատների վրա, նրանց մոտ գենետիկական անբուժելի հիվանդությունները վերացնելու նպատակով: Դրական ճյուղն մարդու ժառանգականության բիոտեխնոլոգիական միջամտությունն է, նրա «ցեղատեսակի» սելեկցիոն փոփոխության, լավագույն հատկանիշների լավասերման նպատակով: Բարոյագետները գտնում են, որ առաջին եվգենիկան սկզբունքորեն ողջունելի է, իսկ երկրորդը կասկածների և առարկությունների տեղիք է տալիս:

3. *Ռեպրեսիոն եվգենիկա (ճնշում)* – ընկճում էին հասարակությանը:

Կենսաբժշկական եվգենիկան գործում է նաև ներկայումս, որի մեջ մտնում են հետևյալ գործոնները.

- ❖ ընտանիքների ստեղծման պլանավորում խուսափելով գենային արատներ ունեցող երեխաների ծնունդից,
- ❖ գենետիկական դիագնոստիկայի վրա հիմնավորված աբորտներ,
- ❖ գենետիկական արատ ունեցող երեխաների սկրինինգ,
- ❖ երիտասարդների բժշկական հետազոտությունների իրականացում, որի ժամանակ ստուգվում են ֆիզիկական զարգացվածությունը, արատները և այլն,
- ❖ նորածինների արատների ամբողջական սկրինինգ:

Կենսաբժշկական եվգենիկայի ներկայիս լայն հեռանկարներ ունեցող գործոններից են.

- ❖ Սպերմատոզոիդների և ձվաբջիջների բանկերի տեղծում:
- ❖ Գենային թերապիա՝ կենսատեխնոլոգիական և բժշկական մեթոդներ, որոնք ուղղված են մարդու սոմատիկ բջիջների գենետիկական ապարատի փոփոխմանը, որի նպատակն է բուժել հիվանդությունները: Արդյունքում բջջին տրվում են նոր ֆունկցիաներ և կատարվում են փոփոխություններ ԴՆԹ-ում:
- ❖ Իմպլանտացիայից առաջ ձվաբջիջների գենոմների կորեկցիա:
- ❖ Ռեպրոդուկտիվ (վերարտադրողական կլոնացում) – եթե ծնողներից մեկն ունի գենային արատներ, ապա կատարում են մյուս առողջ ծնողի գեների իմպլանտացիա ձվաբջջում:
- ❖ Թերապևտիկ կլոնացում – կյանքը երկարացնող ավտոտրանսպլանտների ստեղծում:

❖ Փոխնակ մայրերի օգտագործում:

Դիսկրիմինացիոն եվգենիկան ակտիվ գործում էր 20-րդ դարում, և գործում էր հիմնականում բացասական ճյուղը.

❖ հանցագործների ստերջացում

❖ մասսայական մահապատիժներ և գենոցիդ

❖ էլիտար ամուսնությունների աջակցություն:

Սակայն դիսկրիմինացիոն եվգենիկան ոչ էֆեկտիվ էր, որովհետև դժվար էր մաքրել պոպուլյացիայում բոլոր արատները: Պատճառը սերունդների երկար կյանքն էր, նորանոր մուտացիաների առաջացումը և ռեցեսիվ գենների առկայությունը, որոնք տվյալ սերնդում ֆենոտիպորեն չէին դրսևորվում, սակայն ժառանգվելով կարող էին արտահայտվել:

Ռեպրեսիոն (ճնշող) եվգենիկան ամենամասշտաբայինն էր ու էֆեկտիվը, որի հիմքում ընկած էին հետևյալ գործոնները.

❖ մեկուսացման պրոցեսներ (երկաթե վարագույր)

❖ գոյատևման ճգնաժամ

❖ վերարտադրման հնարավորության ճգնաժամ

❖ միգրացիայի կառավարում:

Քննարկենք եվգենիկայի մի քանի օրինակներ, որոնք առկա են մեր օրերում:

❖ ԱՄՆ-ում գործում է «գենետիկ հիվանդությունների նախագրուշացման» հանձնաժողովը՝ որը զբաղվում է դպրոցականների գենետիկական անալիզների վերլուծմամբ: Հանձնաժողովը կարող է խորհուրդ տալ չամուսնանալու այն զույգերին, ում գենոմում հայտնաբերվել են արատավոր գեններ: Չնայած դրան այդ զույգերը կարող են անտեսել գենետիկական թեստերի արդյունքները կատարելով սեփական որոշում:

❖ Մեկ այլ օրինակ է Չինաստանը, որտեղ բնակչության բազմաքանակության պատճառով շարունակում են գործել

բժիշկների որոշմամբ ստերջացումները և արքրտները: Եվ չինացի գենետիկների 90 %-ը համարում է այդ օրենքը արդար որոշում, մինչդեռ ԱՄՆ-ի գենետիկների ընդամենը 5%-ն են ընդունում այդ օրենքները: Իսկ ինչ վերաբերում է արքրտներին, ԱՄՆ-ի գիտնականների 85%-ը գտնում է, որ միայն կինը կարող է որոշում կայացնել նման հարցի շուրջ:

Ժամանակակից բազմաթիվ հրապարակախոսներ եվգենիկան բերում են որպես օրինակ այն բանի, թե ինչ վնասների կարող են հանգեցնել առանց հսկողության հետազոտությունները, մանավանդ գենետիկայի ասպարեզում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. *Джон Г.* Будущая эволюция человека – Евгеника XXI века. М.: Изд-во «Захарова», 2005. 176 с.
2. *Хан Ю.В.* Евгенический проект: «pro» и «contra». М., 2003. 153 с.
3. *Янковский Н. К.* Генетический супермаркет: проблема выбора // *Химия и Жизнь*, № 7–8, 2003.

ХРОМОСОМА–21: ЕВГЕНИКА

А. Амирджанян, А. Оганесян

АННОТАЦИЯ

Евгеника – учение о селекции применительно к человеку, а также о путях улучшения его наследственных свойств. Учение было призвано бороться с явлениями вырождения в человеческом генофонде.

Это учение в современном его понимании зародилось в Англии, его лидером был Френсис Гальтон – двоюродный брат Чарльза Дарвина. Именно Гальтон придумал термин «евгеника». Гальтон намеревался сделать евгенику, которая, по его мнению, подтверждала право англосаксонской расы на мировое господство, «частью национального сознания, наподобие новой религии».

Ключевые слова: полезные гены, дискриминационная евгеника, репрессивная евгеника, репродуктивное клонирование.

CHROMOSOME – 21: EUGENICS

A. Amirjanyan, A. Hovhannisyan

ABSTRACT

Eugenics (/ju:'dʒeɪnɪks/; from Greek εὐγενής *eugenes* “well-born” from εὖ *eu*, “good, well” and γένος *genos*, “race, stock, kin”) is a set of beliefs and practices that aims at improving the genetic quality of the human population. The exact definition of *eugenics* has been a matter of debate since the term was coined.

Frederick Osborn's 1937 journal article “Development of a Eugenic Philosophy” framed it as a social philosophy – that is, a philosophy with implications for social order. That definition is not universally accepted. Osborn advocated for higher rates of sexual reproduction among people with desired traits (positive eugenics), or reduced rates of sexual reproduction and sterilization of people with less-desired or undesired traits (negative eugenics).

Keywords: useful genes, discriminatory eugenics, repressive eugenics, reproductive cloning.

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ, ВОВЛЕЧЕННЫХ В РАЗВИТИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ В АРМЯНСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ

М.А. Никогосян, А.А. Оганесян, А.А. Аракелян

*Российско-Армянский университет
Институт молекулярной биологии НАН РА*

marianikoghosyan@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Исследование ассоциации генетических вариантов с комплексными заболеваниями человека является актуальной задачей клинической геномики и позволяет оценить риск развития многих заболеваний как у отдельного индивида, так и для популяции в целом. В данной работе с использованием методов биоинформационного и статистического анализа в армянской популяции были охарактеризованы распространенные однонуклеотидные полиморфизмы, связанные с предрасположенностью к моно- и полигенным заболеваниям.

Результаты исследования позволили выявить 58 однонуклеотидных полиморфизмов, характеризующихся высокой частотой минорных аллелей (10–50%), ассоциированных с метаболическими, раковыми, сердечно-сосудистыми, неврологическими заболеваниями и дисфункцией иммунной системы. Полученные данные в целом совпадают с данными по заболеваемости и смертности по Армении, что свидетельствует о потенциале применения методов геномики для разработки здравоохранительных программ.

Ключевые слова: геномика, широкогеномное исследование ассоциаций, однонуклеотидные полиморфизмы, генетические факторы риска.

Введение

Исследование ассоциации генетических локусов с риском развития различных заболеваний человека является актуальной задачей биомедицины и молекулярной генетики [1]. Многочисленные исследования в данной области привели к идентификации различных мутаций и полиморфизмов в геноме, связанных с предрасположенностью к таким заболеваниям, как: рак молочной железы, инфаркт миокарда, диабет, аутоиммунные и психиатрические расстройства [2]. При этом, наряду с расшифровкой генома человека, международным проектом *Нар Мар* [3] и внедрением высокопроизводительных технологий – таких, как: биочипы и секвенирование следующего поколения и масс-спектроскопия, наблюдается общая тенденция ухода от изучения отдельных генов и белков в сторону глобального анализа на уровне генома, транскриптома и протеома.

На сегодняшний день наиболее распространенным высокопроизводительным методом потенциальных генетических маркеров является широкогеномное исследование ассоциаций (*genome wide association studies, GWAS*), при котором исследуются от нескольких сотен до нескольких миллионов геномных маркеров с помощью специальных биочипов – таких, как: *Illumina Human Omni Express, Illumina 610K* и т.д. Поскольку данный подход позволяет исследовать однонуклеотидные полиморфизмы (ОНП, *single nucleotide polymorphisms, SNPs*) по всему геному, то он представляет собой перспективный путь для изучения комплексных заболеваний человека, в которых многочисленные генетические варианты способствуют формированию предрасположенности к этим заболеваниям.

Большинство широкогеномных исследований ассоциаций были проведены в рамках проектов *1000 Genomes* и *Нар Мар*, в которых представлено очень ограниченное количество популяций, в основном из Европы и Африки, и только в последние годы эти исследования ведутся в других популяциях мира [3, 4]. Учитывая достаточную специфичность геномных вариаций в этнических группах населения, необходимо оценить распространенность вариантов риска заболевания для каждой из них. В данной работе мы исследовали распространенность

ОНП, ассоциированных с комплексными заболеваниями в армянской популяции.

Материалы и методы

Субъекты исследования

В данной работе использовались несколько наборов данных из опубликованных ранее статей. Всего были проанализированы данные полногеномного генотипирования 169 лиц армянской национальности:

1) 39 лиц из Ливана. Генотипирование сделано на микрочипах Illumina 610K или 660K [5];

2) 99 доноров из Республики Армении: Чамбарак (n=30), Дзрак (n=18), Гавар (n=12), Мартуни (n=19), Егвард (n=11), Ереван (n=9). Генотипирование было проведено на микрочипах Illumina Human Omni Express [5];

3) Данные о 33 здоровых лиц (микрочипы Illumina 1.2M Bead Chip) предоставлены лабораторией этногеномики института молекулярной биологии НАН РА.

Предварительная обработка данных

На первом этапе исследования необходимо было отобрать из имеющихся ОНП те, которые наиболее часто встречаются в армянской популяции. Для расчетов использовался специализированный программный модуль “snStats” для среды программирования “R”. В качестве критерия распространенности ОНП в популяции был принят нижний порог доверительного интервала для частоты минорной аллели. Были отобраны только те ОНП, у которых нижний предел CI95% был больше 0.05. Доверительный интервал рассчитывался по формуле (1.1):

$$CI95 = p \pm Z_{.95} \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}} \pm \frac{P}{N}, \quad (0.1)$$

где P = частота распределения минорной аллели, N = количество ОНП.

Как показали последние исследования, CI95% является достаточно точным статистическим критерием для отбора распространенных

ОНП. На следующем этапе были отобраны те ОНП, у которых распределение генотипов соответствовало равновесию Хайди-Вайнберга ($p > 0.1$). На основе проведенного статистического анализа мы получили 193509 полиморфизмов, у которых частота минорной аллели колебалась в пределах 0.09–0.5.

Функциональная аннотация распространенных полиморфизмов

Функциональная аннотация ОНП была проведена с использованием баз данных Hums Var Uniprot (www.uniprot.org/docs/humsavar) и ClinVar NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/clinvar/>). В базах данных содержится актуальная и экспериментально валидированная информация о взаимосвязи генетических вариаций с фенотипами как в норме, так и при различных патологических состояниях организма. Так, в базе Hums Var Uniprot содержится информация об ассоциации 3782 полиморфизмов с моно- и полигенными заболеваниями, а в ClinVar NCBI – 41945.

Результаты и обсуждение

В результате проведенного статистического анализа и функциональной аннотации распространенных полиморфизмов в армянской популяции были идентифицированы 58 ОНП, ассоциированные с различными заболеваниями (таблица 1). Сравнение полученных результатов по ассоциации с данными проекта Global Disease Burden (<http://global-disease-burden.healthgrove.com/>) по статистике смертности различных заболеваний в Армении показало, что имеется большое сходство между указанными показателями. Так, наиболее частой причиной смерти в республике являются сердечно-сосудистые заболевания (484.3 на 100000 популяции), ишемическая болезнь сердца (277.1) и онкологические заболевания (166.5). При этом именно для этих заболеваний мы обнаружили высокую частоту минорных аллелей, связанных с риском их развития (Таблица 1.).

Таблица 1.

Количество ОНП, ассоциированных с заболеваниями, в армянской популяции.

Заболевания	Количество ОНП	Частота минорной аллели (мин-макс)
Метаболические	17	0.13 – 0.49
Сердечно-сосудистые	8	0.16 – 0.48
Иммунологические	8	0.10 – 0.50
Мышечные	6	0.15 – 0.47
Онкологические	6	0.18 – 0.38
Неврологические	3	0.10 – 0.26
Другие	10	0.13 – 0.44

Среди всех заболеваний с наибольшим количеством ассоциированными ОНП в армянской популяции является сахарный диабет 2-го типа (Таблица 2.). Найдено 5 ОНП, ассоциированных с данным заболеванием, из которых rs12255372 и rs7903146 находятся в гене TCF7L2, который участвует в гомеостазе глюкозы в крови. Генетические варианты этого гена связаны с повышением риска развития сахарного диабета 2-го типа.

Таблица 2.

Заболевания с максимальным количеством ассоциированными ОНП.

Заболевание	ОНП	Частота минорной аллели
Сахарный диабет 2-го типа	rs3792267/rs4402960/ rs7903146/ rs12255372/rs13266634	0.23/ 0.36/ 0.41/ 0.36/0.23
Рак простаты	rs486907/rs4792311	0.33/0.34
Альцгеймер	rs2227564/rs669	0.1/0.26
Ишемическая болезнь сердца	rs9289231rs662	0.160.32
Астма	rs20541rs2303067	0.210.46

Также мы выделили 3 ОНП с наиболее высоким значением частоты минорной аллели (Табл. 3.). Для сравнения приведены также частоты минорных аллелей этих полиморфизмов в европейской популяции, данные о которых были получены из базы данных dbSNP (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/dbSNP>). Наиболее распространенным ОНП является rs2710102, который находится в гене CNTNAP2. Данный ген кодирует белок из семейства нейрексинов, функционирующий в нервной системе позвоночных, как молекула клеточной адгезии. ОНП rs2710102 в этом гене является рисковым фактором для аутизма. ОНП rs3755319, который является патогенным для синдрома Люси-Дрисколл, находится в гене UGT1A1, который преобразует малые липофильные молекулы – такие, как: стероиды, билирубин, гормоны и лекарства. Наконец, ОНП rs699 находится в гене AGT, который кодирует белок, участвующий в поддержании кровяного давления и участвует в патогенезе эссенциальной гипертензии и преэклампсии.

Таблица 3.

Заболевания высоким значением частоты минорной аллели.

Заболевания	ОНП	Частота минорной аллели в армянской популяции	Частота минорной аллели в европейской популяции
аутизм, восприимчивость	rs2710102	0.50	0.48
синдром Люси-Дрисколл	rs3755319	0.49	0.58
гипертония, недостаточность кортизон редуктазы	rs699	0.48	0.58

Таким образом, полученные данные в целом совпадают с данными по заболеваемости и смертности заболеваний по Армении, что сви-

детельствует о потенциале применения методов геномики для разработки здравоохранительных программ.

Авторы благодарят лабораторию этногеномики Института молекулярной биологии НАН РА (рук. проф., д.б.н. Л. Епископосян) за предоставление части данных, использованных в этой работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Joel N. Hirschhorn and Mark J. Daly.* Genome-wide association studies for common diseases and complex traits. *Nature*, 2005. V. 6. PP. 95–108.
2. Wellcome Trust Case Control Consortium. Genome – wide association study of 14 000 cases of seven common diseases and 3,000 shared controls. *Nature*. 2007.447(7145): 661–678.
3. International Hap Map Consortium. A haplotype map of the human genome. *Nature*.2005. 437(7063):1299–1320.
4. The 1000 Genomes Project Consortium. A global reference for human genetic variation. *Nature* 526. PP. 68–74.
5. *Haber M., Mezzavilla M., Xue Y., Comas D., Gasparini P., Zalloua P., Tyler-Smith C.* Genetic evidence for an origin of the Armenians from Bronze Age mixing of multiple populations. *Eur J Hum Genet*. 2016; 24(6): 931–6.

ANALYSIS OF COMMON GENETIC VARIANTS INVOLVED IN THE DEVELOPMENT OF COMPLEX DISEASES IN ARMENIAN POPULATION

M. Nikoghosyan, A. Hovhannisyan, A. Arakelyan

*Russian-Armenian University
Institute of Molecular Biology NAS RA*

marianikoghosyan@gmail.com

ABSTRACT

The genome wide association study approach is an important tool of clinical genomics and allows estimation of genetic risk factor for diseases for an individual

and as well as for the entire population. In this paper we characterized common single nucleotide polymorphisms associated with predisposition to mono- and polygenic diseases in Armenian population by using bioinformatics and statistics analyses. We identified 58 single nucleotide polymorphisms, which have high minor allele frequency (10–50%) and are associated with metabolic, cardiovascular, nervous diseases, cancers, and dysfunction of the immune system. The obtained results broadly match with data for disease morbidity and mortality in Armenia and indicate the potential of genomic methods in development of relevant public health programs.

Keywords: genomics, genome-wide association, single nucleotide polymorphism, genetic risk factors.

**ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՊՈՊՈՒԼՅԱՑԻԱՅՈՒՄ ՄԱՐԴՈՒ ԲԱԶՄԱԳՈՐԾՈՆ
ՀԻՎԱՆԴՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ՀԵՏ ԿԱՊՎԱԾ ՀԱՃԱԽԱԿԻ
ՀԱՆԴԻՊՈՂ ԳԵՆԵՏԻԿԱԿԱՆ ՎԱՐԻԱՆՏՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ**

Մ.Ա. Նիկողոսյան, Ա.Ա. Հովհաննիսյան, Ա.Ա. Առաքելյան

Հայ-Ռուսական համալսարան

ՀՀ ԳԱԱ Մոլեկուլային կենսաբանության ինստիտուտ

marianikoghosyan@gmail.com

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Կլինիկական գենոմիկայի կարևորագույն խնդիրներից է մարդու բազմազործոն հիվանդությունների և գենետիկական վարիանտների ասոցիացիայի հետազոտությունները, ինչը թույլ է տալիս գնահատել հիվանդության զարգացման ռիսկը, ինչպես անհատների, այնպե՛լ էլ պոպուլյացիայի մակարդակով: Այս աշխատանքում, օգտագործելով կենսաինֆորմատիկայի և վիճակագրական մեթոդներ՝ հետազոտվել է տարբեր հիվանդությունների հետ կապված եզակի նուկլեոտիդային պոլիմորֆիզմների բաշխումը հայկական պոպուլյացիայում: Ուսումնասիրության արդյունքում բացահայտվել են 58 պոլիմորֆիզմներ, որոնք բնութագրվում են միևնույն

լելի բարձր հաճախականությամբ (10–50%) և հանդիսանում են նյութափոխանակության, սիրտ-անոթային, նյարդային հիվանդությունների, քաղցկեղի և իմունային համակարգի դիսֆունկցիայի ռիսկի գործոն: Ստացված տվյալները, ընդհանուր առմամբ, համապատասխանում են Հայաստանում հիվանդացության և մահացության վիճակագրական տվյալների հետ, ինչը վկայում է գենոմիկայի մեթոդների կիրառման հնարավորության մասին՝ առողջապահության ծրագրերը մշակելիս:

Հիմնաքառեր՝ գենոմիկա, լայնազենոմային ասոցիացիաների հետազոտություն, եզակի նուկլեոտիդային պոլիմորֆիզմներ, գենետիկական ռիսկի գործոններ:

ХИМИЯ

АДСОРБЦИОННЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ОТ АРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

А.С. Никогосян, А.Н. Кочарян, М.З. Петросян, Н.А. Авакян

АННОТАЦИЯ

В данной статье изучены местные природные и переработанные цеолиты и их использование в качестве адсорбентов для очистки водной среды от ароматических азотсодержащих соединений. Адсорбционная активность процесса изучена методом рефрактометрического анализа. Установлена адсорбционная полезность природных цеолитов при очистке сточных вод от изучаемых органических веществ.

Ключевые слова: очистка сточных вод сорбент, цеолит, клиноптилолит, морденит, Н-морденит, адсорбция, азотсодержащие органические соединения.

Введение

Процесс адсорбции растворенных в воде органических веществ используется во многих технологических процессах. Техничко-экономическая оценка различных технологий глубокой очистки и доочистки сточных вод показала, что сорбционные методы наиболее перспективны для регенерации технической воды [1].

Адсорбтивная активность определяется химическим строением поверхности адсорбента и зависит от величины его удельной поверхности. Например, взаимодействие адсорбентов, содержащих оксо- или гидроксильные группы на поверхности с полярными молекулами,

имеет место через образование водородных связей с активными в химическом отношении замещенных групп в структуре органической молекулы. Такими соединениями являются ароматические азотсодержащие соединения – анилин и нитробензол. Последние являются важными загрязнителями сточных вод от производств красителей, исходных веществ для производства вспомогательных сельскохозяйственных и фармацевтичных продуктов.

Известно, что на гидроксильной поверхности природных алюмосиликатов (например, цеолитов, силикагелей), а также оксидов и гидроксидов и др., энергия Н-связи в 2...4 раза превышает энергию Ван-дер-Ваальсового взаимодействия, и поэтому адсорбция молекул, возникающая за счет водородной связи, преобладает над адсорбцией молекул, адсорбирующихся только под воздействием Ван-дер-Ваальсовских сил [1].

Известно также, что преимущества адсорбционной очистки проявляются наиболее полно при низких концентрациях. В связи с чем, этот метод часто используется в качестве конечной стадии при комплексной очистке [2], что обычно имеет место в вышеотмеченных производствах.

Существуют более 30 видов природных цеолитов, но лишь часть из них образует крупные месторождения (80% в концентрате), удобные для промышленной переработки [3]. Наиболее распространенные природные цеолиты приведены в Таблице 1. Природные сорбенты из ряда цеолитов можно добывать в непосредственной близости от места потребления, что определяется стремлением к снижению себестоимости очистки воды. В Армении массивы цеолитов-цеолитсодержащих туфов вулканогенно-осадочного происхождения имеются в различных марзах (областях) Республики: Тавуш (Ноемберян-Нор Кохб и др., Паравакар, Иджеван-Дилижан), Ашоцк (Сарчапет), Ширак (Кети, Капс, Крашен, Красар и др.), Лори (Алаверди), Котайк (Гарни-Азат), Вайк (Мартирос), Сюник (Капан-Шикахох) [4]. Химический состав, использованных в работе природных цеолитов [5], также приведен в Таблице 1.

Таблица 1.

N	Название	Плотность каркаса, г/см ³	Доля свободного объема	Размер окон главн.канал. нм	Состав %							Влажность (при 105 °С) %
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	
1.	Клиноптилолит	1,71	0,34	0,35	69,66	11,36	0,92	0,23	2,58	1,22	1,43	3,32
2.	Морденит	1,70	0,28	0,67... 0,70	70,04	10,79	1,55	0,34	3,55	0,96	0,83	3,79
3.	Морденит Н формы	1,80	–	–	74,99	12,16	1,45	0,09	1,17	1,74	0,11	5,13

Экспериментальная часть

Исследованы природные цеолиты: клиноптилолит (Ноемберян) и морденит (Ширак), а также и обработанный соляной кислотой морденит.

Природные цеолиты сушили в течение нескольких часов для удаления остатков воды [6]. Дальнейшие разработки цеолита с соляной кислотой осуществлялась в соответствии с известным методом. Присутствие органических соединений в водной среде установилось рефрактометрическим анализом.

Данные рефрактометрического анализа проверены хроматографическими исследованиями:

1. Высокоэффективным жидкостным хроматографированием (Water 486-detector, Water 600S-controller, Water 626-Pump системы) с силикагельным сорбентом в 250x4 мм микроразмерной колонке, скорость потока клеточного фаза 1 мл/мин, детектор УФ-254 нм.

2. Газжидкостным хроматографическим методом через устройство «ЛХМ-80» проведен анализ соединений, в соответствии с детекто-

ром теплопроводимости, температура башни 200–250⁰С, длина башни 2000x3 мм, 10% Ariezon L INERTON-AW (0,20–0,25 мм) на носителе, скорость газа гелия 60 м/мин.

3. Ультрафиолетовым спектрометрическим анализом (УФ) помощью спектрофотометра “Spercord-50”.

Установлено, что данные рефрактометрического анализа совпадают с данными вышеупомянутых методов физико-химического анализа с 5–10% отклонением.

Извлечение нитробензола сорбентами

Количество точно взвешенных сорбентов внедряли определенный объем водного раствора салициловой кислоты. Смесь взболтали в течение 6-и часов. Затем образец оставляли в течение 24–60 часов. Адсорбция заканчивалась в течение первых 48 часов. Количество неадсорбированного нитробензола определялось методом рефрактометрического анализа с уточнением вышеперечисленных методов УФ спектрофотометрическим и рефрактометрическим методом [6].

Адсорбция изучается в стационарных условиях. 5 мл растворов нитробензола в гексане и растворов анилина и в четыреххлористом углероде смешивают с 0,5 г каждого из указанных выше цеолитов. Продолжительность эксперимента была с 3 часов до 3 дней, преломление растворов измерялось каждый день в один тот же час.

Во второй стадии эксперимента попробовали методом “River-Stream” (Каскад), который также подтверждает вышеупомянутые результаты. Так, измеряли 0,5 г каждого цеолита в цилиндрическом слое цеолита, который изготовлен в виде пористой стеклянной колонки. Затем слой подавали по 5 мл различной вышеуказанных растворах по каплям. Ориентировочно скорость составляла 1 капля/сек. В конце каждого этапа измеряли рефракцию раствора, и эксперимент просто повторяли с новым слоем с тем же цеолитом при тех же условиях. После 4 этапов эксперимент был остановлен.

Таблица 2.

**Данные рефрактометрического анализа
для раствора нитробензола в гексане.**

Нормальн.	Цеолит	R_0	$R_{3\text{час}}$	$R_{1\text{день}}$	$R_{2\text{день}}$	$R_{3\text{день}}$
1	Клиноптиллолит	1.3922	1.3920	-----	1.3917	1.3911
0.5	Клиноптиллолит	1.3827	1.3816	-----	1.3814	1.3818
1	морденит	1.3922	-----	1.3913	1.3909	1.3903
0.5	морденит	1.3827	-----	1.3820	1.3825	1.3825
1	Н-Морденит	1.3922	-----	1.3918	1.3912	1.3911
0.5	Н-Морденит	1.3827	-----	1.3819	1.3819	1.3817

Таблица 3.

**Данные рефрактометрического анализа для 1 нормального раствора
раствора анилина в четыреххлористом углероде.**

Цеолит	R_0	$R_{3\text{час}}$	$R_{1\text{ день}}$	$R_{2\text{день}}$	$R_{3\text{день}}$
Клиноптиллолит	1.4720	1.4717	-----	1.4708	1.4703
морденит	1.4720	-----	1.4703	1.4702	1.4690
Н-морденит	1.4720	-----	1.4687	1.4689	1.4685

Обсуждение полученных результатов

Преломление чистого нитробензола и анилина выше, чем чистого гексана и четыреххлористого углерода. Поэтому когда рефракция раствора увеличивается, то это означает, что цеолиты поглотили больше гексана или четыреххлористого углерода и, когда уменьшается, это означает, что в этот период цеолит был более склонный к сорбции анилина или нитробензола.

Как видно из данных таблицы, рефрактометрические данные уменьшаются, что свидетельствует об адсорбции изучаемых органических веществ на цеолитах.

Как и следовало ожидать, наиболее высокую адсорбционную активность проявляет Н-морденит вследствие образования водородных связей. Однако, учитывая технико-экономические факторы проводимых процессов, целесообразно использование самых природных цеолитов, требующих более простых технологических обработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Когановский А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М., Рода И.Г. Адсорбция органических веществ из воды. Л. «Химия», 1990. С. 256.
2. Смирнов В.А. Очистка сточных вод. М.: «Химия».1984, 280 с.
3. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита.М.: «Мир».1976. 781с.
4. Авакян Г.С. Цеолитовые породы Ноемберянского района Армянской СЗР и перспективы их освоения. Ер.: Изв-во АН Арм ССР, Науки о земле, 1973, № 6.
5. Авакян Г.С. Отчет поисковых работ на цеолиты проведенных на территории Армянской ССР за период 1972–1973гг. Ер.,1974.
6. Sargsyan S.N., Grigoryan A.Sh., Harutjunyan S.A., Torosyan G.H. // The Bulletin of Armenian Constructors, 2000, v.2, /18/. P.30.

AROMATIC COMPOUNDS CLEANING BY ADSORBCION METHOD

A. Nikogosyan, H. Kocharyan, M. Petrosyan, N. Avagyan

ABSTRACT

Studied and processed local natural zeolites and their use as adsorbents for purifying an aqueous medium from aromatic nitrogen containing compounds. Adsorption process activity was studied by the refractometric analysis. Established

the usefulness of natural zeolite adsorption in the purification of waste water from the studied organic substances.

Keywords: wastewater treatment, sorbent, zeolite, clinoptilolite, mordenite, H-mordenite, adsorption, nitrogen-containing organic compounds.

ԱՐՈՍԱՏԻԿԱՅԻՆ ՄԻԱՅՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻՑ ՄԱՔՐՈՒՄ ԱԴՏՈՐԲՄԱՄԲ

Ա.Ա. Նիկողոսյան, Հ.Ն. Քոչարյան, Մ.Զ. Պետրոսյան, Ն.Ա. Ավագյան

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Ուսումնասիրվել է տեղական բնական ցեոլիտների և դրանց վերամշակված օրինակների, որպես ադսորբենտ, օգտագործումը ջրային միջավայրը արոմատիկային ազոտ պարունակող միացություններից մաքրելու համար:

Հիմնաբառեր՝ Սորբենտ, ցեոլիտ, հոսքաջրերի մաքրում, ազոտ պարունակող օրգանական միացություններ, ադսորբում:

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

А.А. Симонян, М.З. Петросян

АННОТАЦИЯ

В данной работе изучены методы очистки сточных вод с использованием природных цеолитов из недр Армении. С целью моделирования построена математическая модель выбранного процесса, что предполагает определение оптимальных условий протекания процесса, управление им на основе математической модели и перенос результатов на объект.

Ключевые слова: математическая модель, адсорбция, сточные воды, природные цеолиты, кинетика.

Основное содержание работы

Наиболее эффективный метод очистки сточных вод от находящихся там органических веществ, позволяющий достигать высокой степени очистки, в частности при наличии малых концентраций, является процесс сорбции [1].

В качестве адсорбента обычно используются алюмосиликаты, в основном природные цеолиты, вулканические породы в виде туфа и других камней, активный уголь, отходы строительства или производства металлов и другие. Установлено, что эффективный размер размельченных твердых частиц сорбента 1,5–5 мм [2–4]. При более мелких зернах возрастает сопротивление фильтрованию жидкости. Скорость фильтрования зависит от концентрации растворенных веществ и колеблется от 2–4 до 5–6 м³/ч через 1 м² поперечного сечения колонны. Вода в колонне движется снизу вверх, заполняя все ее сечение. Во избежание забивки адсорбента сточная вода не должна содержать твердых взве-

шенных примесей [2]. Последние удаляются при механической очистке или стоянии воды.

В данной работе рассмотрен процесс изотермической равновесной адсорбции в динамических условиях при очистке (фильтровании) сточной воды через слой адсорбента – природного цеолита из депозитов армянских месторождений (морденит из Ширакского региона, клиноптилолит из Северо-востока страны).

Целью моделирования является определение оптимальных условий протекания процесса, управление им на основе математической модели и перенос результатов на объект [5]. Полная математическая модель включает описание связей между основными переменными процесса в установившихся режимах (статическая модель) и во времени при переходе от одного режима к другому (динамическая модель). Решение рассматриваемой модели заключается в подборе соответствующих уравнений для описания рабочего режима, проверку ограничений на входные и выходные параметры, вычисление целевой функции. К варьируемым входным параметрам относятся гранулометрический состав и высота слоя сорбента. Неварьируемыми входными параметрами процесса являются адсорбционная емкость примененных адсорбентов, качество и состав исходной сточной воды, заданная производительность и степень очистки.

Поскольку регенерация цеолита в данном технологическом процессе не предусмотрена, то решение математической модели заключается в подборе соответствующих уравнений для описания рабочего режима. Соответственно, продолжительность полного сорбции (фильтроцикла) в адсорбере будет совпадать со временем адсорбции τ .

Приближенно продолжительность τ можно определить, исходя из средней концентрации y_1 нефтепродуктов, поглощенных сорбентом в начальный момент времени и их концентрации y_2 – в конечный момент:

$$\tau = \frac{G(y_2 - y_1)}{\omega_0 S \rho_{c.b.} (C_1 - C_2)}, \quad (1)$$

где ω_0 – фиктивная скорость сточной воды, м/с; S – площадь сечения адсорбера, м²; $\rho_{c.b.}$ – плотность сточной воды, кг/м³; C_1 и C_2 – концен-

трации поглощаемых продуктов в сточной воде, мг/дм³; G – масса шлама в фильтрующем слое, г.

По экспериментальным данным можно получить значение количества G адсорбированной за время τ примеси $G(\tau)$ или скорость адсорбции $dG/d\tau$, рассчитанное по уравнению (1).

Описание динамики адсорбции проводится обычно с учетом лишь одного или двух кинетических параметров: эффективной продольной диффузии, массопереноса из потока жидкости к гранулам адсорбента, диффузии внутри гранул адсорбента.

Для обеспечения возможности последующего расчета по уравнениям математической модели сорбционной очистки в явном виде прием общеизвестные в таких случаях допущения:

- изменением плотности потока сточной воды вследствие убыли адсорбтива можно пренебречь;
- движение потока в слое адсорбента (фильтре) осуществляется в одном направлении с постоянной скоростью.
- поток сточной воды через фильтр рассматривается в качестве псевдобинарной смеси, состоящей из воды и органических поллютантов .
- сорбционный слой считается сплошным пористым телом с изоморфными свойствами.
- наличие одного компонента в сточных водах приводит к снижению величины сорбции других компонентов. Компоненты с процентным содержанием менее 0,1% не рассматриваются.

Уравнение кинетики процесса адсорбции записывается в виде:

$$\frac{da}{d\tau} = (c - c^*), \quad (2)$$

где β_i – объемный коэффициент массопередачи, с⁻¹; c^* – концентрация адсорбтива на поверхности раздела фаз, равновесная текущей величине адсорбции, мг/дм³.

Дифференциальные уравнения массообмена в зернистом слое решается с учетом начальных и граничных условий. Распределения концентраций и температур в начальный момент времени:

$$\tau = 0; 0 \leq h \leq L; c = 0; a = 0; T = T_0 = \text{const.}$$

Граничные условия при $h=0$ записываются в виде:

$$\tau > 0; h=L; c=c_0 = \text{const}; a = a(\tau); T = \text{const}.$$

Таким образом, в течение всего процесса в слой поступает поток жидкости при постоянной концентрации адсорбтива и температуре.

Изотерма адсорбции является основной характеристикой адсорбента. Уравнение изотермы адсорбции записывается в виде:

$$a = f(c) \quad (3).$$

Выводы

Полученный информационный базис по изучению адсорбции позволяет моделировать динамику процесса в неподвижном слое сорбента – природного цеолита на основе уравнений материального баланса в частных производных и последующей аппроксимацией с использованием встроенных функций различных вычислительных программ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бородай Е.Н.* Математическое моделирование адсорбционного процесса очистки сточных вод от нефтепродуктов // Материалы докладов XVIII Международной молодежной научной конференции «Туполевские чтения». Т. 3. Казань, КГТУ им. А.Н. Туполева, 2010. СС. 188–191.
2. *Torosyan G.H, Zelentsov V.I.* Datsko Tatiana and all The investigation on the equilibrium and kinetics of adsorption furfural on activated carbon, //Journal of Environmental Science and Engineering. 2013. A2. PP. 80–88.
3. *Торосян Г.О., Алексанян А.Р., Давтян В.А, Мартиросян В.Г., Саркизова Ю.С., Казинян А.А.* Использование сельхозотходов в качестве сорбента для удаления органических веществ из водных растворов, Изв.Вузов РФ, серия химия и химическая технология, 2008, т.51, вып.12. СС. 99–101.
4. *Чебакова И.Б.* Очистка сточных вод: учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2001. 84 с.

5. *Кафаров В.В., Глебов М.Б.* Математическое моделирование основных процессов химических производств: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1991. 400с.

MATHEMATICAL MODEL OF ADSORPTION IN WASTEWATER TREATMENT

H. Simonyan, M. Petrosyan

ABSTRACT

In this paper we investigated methods of sewage treatment, a mathematical model of the selected process. The purpose of modeling is to determine the optimum process conditions, managing them on the basis of a mathematical model and transfer the results to an object.

Keywords: mathematical model, adsorption, wastewater, kinetics.

ՀՈՍՔԱԶՐԵՐԻ ՄԱՔՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ԿԻՐԱՌՎՈՂ ԱՂՍՈՐԲՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼԸ

Հ.Ա. Միմոնյան, Մ.Զ. Պետրոսյան

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Ներկայացված աշխատանքում հետազոտվել են հոսքաջրերի մաքրման եղանակները, կազմվել է ընտրված եղանակի մաթեմատիկական մոդելը: Մոդելավորման նպատակն է գործընթացի օպտիմալ պայմանների հայտնաբերումը, դրանց կառավարումը՝ հիմնվելով մաթեմատիկական մոդելի վրա, և փոխանցումը իրական օբյեկտի վրա:

Հիմնաբառեր՝ մաթեմատիկական մոդել, աղսորբցիա, հոսքաջրեր, կինետիկա:

*Главный редактор – М.Э. Авакян
Редактор – Э.А. Рухкян
Корректор – М.Э. Тадевосян
Компьютерная верстка – А.Г. Антонян*

Адрес Редакции научных изданий
Российско-Армянского
университета:

*0051, г. Ереван, ул. Овсена Эмина, 123
тел/факс: (+374 10) 27-70-52 (внутр. 42-02)
e-mail: redaction.rau@gmail.ru*

Заказ № 24

Подписано к печати 22.12.2016г.

Формат 70x100¹/₁₆. Бумага офсетная № 1.

Объем 12.75 усл. п.л. Тираж 200 экз.

