



## МАТЕРИАЛЫ

### VI Международной научной конференции

# Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности



Том 1

Механико-математические,  
компьютерные  
и химические науки, управление



## Дорогие коллеги!

В Донецком национальном университете стало традиционным проведение международных научных конференций «Донецкие чтения». Они организуются ежегодно, начиная с 2016 года.

В 2021 году Международная научная конференция «Донецкие чтения: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» проходит в шестой раз и принадлежат к числу наиболее масштабных и значимых научных мероприятий в Донецкой Народной Республике.

С каждым годом эти конференции вызывают все больший интерес в отечественном и зарубежном научно-образовательном пространстве. Постоянно расширяется состав их участников, перечень выносимых на обсуждение научных проблем. Число представляемых докладов за годы проведения конференций возросло более чем в два раза.

В 2021 году VI Международная научная конференция «Донецкие чтения: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» проводится при поддержке Главы ДНР, Общественной организации «Русский Центр», Совета ректоров вузов ДНР. В ее подготовке и проведении активное и деятельное участие принимают научные организации Донецкой Народной Республики, входящие в состав академического консорциума «Научно-образовательный и инновационный комплекс ДонНУ».

Конференция представлена 67 секциями, которые отражают достижения по широкому спектру научных направлений – от фундаментальной математики и цифровых компьютерных технологий до проблем культуры, духовности, искусства. Данный сборник является одиннадцатипромтым изданием, включающим 16 книг общим объемом более пяти тысяч страниц.

Свои доклады на VI Международную научную конференцию «Донецкие чтения: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» по результатам выполненных фундаментальных и прикладных исследований прислали известные специалисты и молодые ученые из многочисленных научно-образовательных организаций, представляющие Донецкую и Луганскую народные республики, Российскую Федерацию и целый ряд зарубежных государств. Уверенность в успешной работе конференции придает единодушие всех участников из многих уголков Русского мира: Москвы, Рязани, Ростова, Воронежа, Ставрополя, Краснодара, Минска, Цхуми, Цхинвала, Республики Крым.

Проведение VI Международной научной конференции «Донецкие чтения: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» будет способствовать решению новых актуальных задач фундаментальной и прикладной науки, технологий, внесет свой вклад в инновационное развитие Донецкой Народной Республики, в дальнейшее укрепление творческих контактов ученых, педагогов, деятелей культуры и искусств стран-участниц.

Пусть наша конференция станет местом для дальнейших интересных и плодотворных встреч. Уверена, что результаты работы будут полезны всем участникам, а предложенные рекомендации найдут свое применение в дальнейшей практической деятельности каждого из нас!

Ректор, доктор физико-математических наук, профессор  
С.В. Беспалова

Министерство образования и науки  
Донецкой Народной Республики

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Донецкий национальный университет»

Русский Центр

## **VI Международная научная конференция**

Материалы  
конференции

**Том 1**

МЕХАНИКО-  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ,  
КОМПЬЮТЕРНЫЕ  
И ХИМИЧЕСКИЕ  
НАУКИ,  
УПРАВЛЕНИЕ

**Донецкие чтения  
2021:  
образование, наука,  
инновации, культура  
и вызовы  
современности**

г. Донецк  
26–27 октября 2021 г.

Донецк  
Издательство ДонНУ  
2021

ББК В1я431+В2я431+397я431+Г.я431  
УДК 51+53+004+54(043.2)  
Д672

*Редакционная коллегия:*

С.В. Беспалова (главный редактор), М.В. Фоменко (отв. секретарь),  
В.А. Дубровина, Е.И. Скафа, В.И. Сторожев, И.А. Моисеенко, Н.Н. Щепин,  
Вит.В. Волчков, А.С. Гольцев, Н.Ш. Пономаренко, Д.В. Шевцов,  
А.В. Белый, Н.Д. Щепина, А.С. Алемасова, В.М. Михальчук,  
О.В. Баранова, А.В. Игнатов

**Д672 Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности:** Материалы VI Международной научной конференции (Донецк, 26–27 октября 2021 г.). – Том 1: Механико-математические, компьютерные и химические науки, управление / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2021. – 294 с.

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

В первый том материалов VI Международной научной конференции «Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» вошли исследования по актуальным проблемам физико-математических, технических и химических наук. Рассматриваются вопросы механики твердого тела и деформируемого твердого тела, математического анализа и дифференциальных уравнений, теории вероятностей и математической статистики, прикладной математики и информатики, теории систем управления и информационно-документационного обеспечения управления.

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

ББК В1я431+В2я431+397я431+Г.я431  
УДК 51+53+004+54(043.2)

© Коллектив авторов, 2021

© Донецкий национальный университет, 2021

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ**

### ***Председатель:***

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

### ***Заместитель председателя:***

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

### ***Члены программного комитета:***

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

*Андреев Д.А.*, канд. ист. наук, доцент, заместитель декана по научной работе исторического факультета Московского государственного университета (г. Москва).

*Аноприенко А.Я.*, канд. техн. наук, профессор, ректор Донецкого национального технического университета (г. Донецк).

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

*Васьков М.А.*, д-р социол. наук, профессор Института истории и международных отношений Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону)

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

*Евстигнеев М.П.*, д-р физ.-мат. наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности Севастопольского государственного университета (г. Севастополь)

*Зайченко Н.М.*, д-р техн. наук, профессор, ректор Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (г. Макеевка).

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

*Кожухов И.Б.*, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры высшей математики НИУ «Московский институт электронной техники» (г. Москва).

*Куролап С.А.*, д-р геогр. наук, профессор, декан факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета (г. Воронеж).

*Минаев А.И.*, д-р ист. наук, профессор, ректор Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина (г. Рязань).

*Нечаев В.Д.*, д-р полит. наук, ректор Севастопольского государственного университета (г. Севастополь).

*Полищук В.С.*, д-р техн. наук, директор ГУ «Научно-исследовательский институт «Реактивэлектрон» (г. Донецк).

*Половян А.В.*, д-р экон. наук, профессор, Министр экономического развития Донецкой Народной Республики, и.о. зав. кафедрой менеджмента Донецкого национального университета (г. Донецк).

*Приходько С.А.*, канд. биол. наук, ст. науч. сотр., директор ГУ «Донецкий ботанический сад» (г. Донецк).

*Решидова И.Ю.*, канд. физ.-мат. наук, директор ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина» (г. Донецк).

*Рябичев В.Д.*, д-р техн. наук, профессор, ректор Луганского государственного университета имени Владимира Даля (г. Луганск).

*Савоськин М.В.*, канд. хим. наук, ст. науч. сотр., директор ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко» (г. Донецк).

*Скафа Е.И.*, д-р пед. наук, профессор, проректор Донецкого национального университета (г. Донецк).

*Соболев В.И.*, д-р биол. наук, профессор кафедры здоровья и реабилитации Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского (г. Ялта).

*Сторожев В.И.*, д-р техн. наук, профессор, проректор Донецкого национального университета (г. Донецк).

*Судаков С.Н.*, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., и.о. директора ГУ «Институт прикладной математики и механики» (г. Донецк).

*Тедеев В.Б.*, канд. техн. наук, профессор, ректор Юго-Осетинского государственного университета имени А.А. Тибилова (г. Цхинвал).

*Третьяков В.Т.*, профессор, декан Высшей школы телевидения Московского государственного университета (г. Москва).

*Шемякина Н.В.*, канд. экон. наук, доцент, директор ГБУ «Институт экономических исследований» (г. Донецк).

# МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

## *Механика твердого тела*

УДК 531.38; 531.39

### ОБ АСИМПТОТИЧЕСКИ-РАВНОМЕРНЫХ ДВИЖЕНИЯХ ГИРОСТАТА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ И ГИРОСКОПИЧЕСКИХ СИЛ

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

*Балаклицкая Т.В., Ткаченко Д.Н.*, канд. физ.-мат. наук,

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

*gvgorr@gmail.com*

**Введение.** Асимптотические решения уравнений движения механических систем изучались в различных направлениях. Ж. Адамар [1], А. Кнезер [2], П. Боль [3], О. Перрон [4] и другие рассматривали асимптотические движения натуральных механических систем.

Результаты А. Кнезера были обобщены С.В. Болотиным и В.В. Козловым [5]. В работах [6, 7] рассмотрены вопросы обращения теоремы Ляпунова об устойчивости положения равновесия. На основе конструктивного построения решений уравнений движения в виде рядов определенной структуры доказано существование асимптотических траекторий.

А.П. Маркеев [8, 9] изучал асимптотические траектории и устойчивость периодических движений автономной гамильтоновой системы с двумя степенями свободы.

Наиболее существенные результаты в построении асимптотических решений уравнений механики получил А.М. Ляпунов [10]. На основании определенных свойств линейной системы (например, свойства правильности) он создал метод получения асимптотических решений в виде рядов, абсолютно сходящихся по времени. При этом А.М. Ляпунов изучал случай и непериодических линейных систем, ввел понятие характеристических чисел системы. А. Пуанкаре [11] сформулировал ряд теорем, посвященных характеристичным числам линейных периодических систем, которые имеют место для исходных дифференциальных уравнений, допускающих первые интегралы.

С помощью первого метода Ляпунова исследованы асимптотически-маятниковые движения тяжелого твердого тела [12, 13], асимптотически-прецессионные движения гиростата [14, 15], асимптотически-равномерные движения [16–18]. В статье [19] установлено, что асимптотически

стремящиеся к покою движения тяжелого твердого тела можно найти на основе теоремы Г.В. Каменкова [20]. Ряды Г.В. Каменкова [20] являются частным случаем рядов А.М. Ляпунова [10], но преимущество [20] по сравнению с [10] состоит в том, что ряды Г.В. Каменкова имеют более простой вид (их коэффициенты не зависят от времени).

В данном докладе продолжено изучение асимптотически-равномерных движений гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил относительно оси симметрии силовых полей. Найдено характеристическое уравнение системы первого приближения в задаче об асимптотически-равномерных движениях без ограничения на параметры задачи. Полное исследование этого уравнения проведено для варианта равномерных вращений относительно главной оси эллипсоида инерции гиростата.

**1. Основная часть. Постановка задачи.** Рассмотрим динамическую систему

$$\dot{y}_s = Y_s(t, y_1, \dots, y_n), \quad (1)$$

где  $s=1,2,\dots,n$ , функции  $Y_s$  удовлетворяют требованиям существования и единственности решения задачи Коши. Пусть система (1) допускает решение

$$y_s^0 = f_s(t). \quad (2)$$

Для исследования поведения системы (1) в окрестности решения (2) положим

$$y_s = x_s + f_s(t). \quad (3)$$

Тогда

$$\dot{x}_s = X_s(t, x_1, \dots, x_n), \quad (4)$$

$X_s(t, 0, \dots, 0) = 0$ . Предположим, что  $X_s$  являются голоморфными функциями переменных  $x_1, \dots, x_n$  в окрестности точки  $x_1 = x_2 = \dots = x_n = 0$ . Запишем систему (4) в матричном виде:

$$\dot{x} = p(t)x + P(t, x). \quad (5)$$

Здесь  $x = (x_1, \dots, x_n)^T$ ,  $P = (P_1, \dots, P_n)^T$ ,  $p(t) = \|p_{ij}(t)\|$ ,

$$P_i(t, x) = \sum_{m=2(m_1+\dots+m_n=m)}^{\infty} K^{(m_1, \dots, m_n)}(t) x_1^{m_1} \dots x_n^{m_n}, \quad (6)$$

функции  $p_{ij}(t)$ ,  $K^{(m_1, \dots, m_n)}$  являются непрерывными ограниченными функциями  $t \geq t_0$ ;  $m_1, \dots, m_n$  – натуральные числа или нули. Если система  $\dot{x} = p(t)x$  есть правильная и  $\lambda_1, \dots, \lambda_k$  – положительные характеристические числа этой линейной системы, то система (5) допускает решение в виде рядов [10]

$$x_s = \sum_{m=1(m_1+\dots+m_n=m)}^{\infty} L_s^{(m_1, \dots, m_n)}(t) \alpha_1^{m_1} \dots \alpha_k^{m_k} \exp(-\sum_{i=1}^k m_i \lambda_i) t, \quad (7)$$

где  $L_s^{(m_1 \dots m_k)}(t)$  – непрерывные функции  $t$ , характеристические числа которых не менее нуля, а суммирование распространяется на натуральные числа  $m_1, \dots, m_k$ . Ряды (7) абсолютно сходятся для малых произвольных постоянных  $\alpha_1, \dots, \alpha_k$  и  $x_s \rightarrow 0$  при  $t \rightarrow \infty$ .

**2. Характеристическое уравнение.** Запишем уравнения движения гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил:

$$A\ddot{\omega} = (A\omega + \lambda) \times \omega + \omega \times B\nu + s \times \nu + \nu \times C\nu, \quad \dot{\nu} = \nu \times \omega. \quad (8)$$

В уравнениях (8) введены следующие обозначения:  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)$  – вектор угловой скорости;  $\nu = (\nu_1, \nu_2, \nu_3)$  – единичный вектор оси симметрии силовых полей;  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$  – гиростатический момент, характеризующий движение несомых тел;  $s = (s_1, s_2, s_3)$  – вектор, коллинеарный обобщенному вектору центра масс гиростата;  $A = (A_i)$  ( $i = \overline{1,3}$ ) – тензор инерции гиростата;  $B = (B_i)$  ( $i = \overline{1,3}$ ) – постоянная матрица, характеризующая гироскопические силы;  $C = (C_i)$  ( $i = \overline{1,3}$ ) – постоянная матрица, определяющая потенциальные силы; точка над переменными  $\omega$  и  $\nu$  обозначает относительную производную по времени  $t$ .

Рассмотрим равномерные движения гиростата относительно вектора  $\nu$ :  $\omega = \omega^{(0)}$  – постоянный вектор, направленный по  $\nu$ . Из второго уравнения системы (8) следует  $\dot{\nu} = \mathbf{0}$ , т. е.  $\nu = \nu^{(0)} = \text{const}$ . Следовательно, имеет место равенство

$$\omega^{(0)} = \omega_0 \nu^{(0)}. \quad (9)$$

Подставим величину (9) в первое уравнение из (8):

$$[\omega_0^2 A \nu^{(0)} + \omega_0 (\lambda - B \nu^{(0)}) + s - C \nu^{(0)}] \times \nu^{(0)} = 0. \quad (10)$$

Теперь задача свелась к исследованию таких значений  $A_i, B_i, C_i, \lambda_i, \nu_i^{(0)}, \omega_0$ , при которых уравнение (10) обращается в тождество.

Для рассмотрения уравнений равномерных движений гиростата в вариациях уравнение (10) параметризуем следующим образом:

$$\begin{aligned} \epsilon_0 \nu_1^{(0)} &= \omega_0^2 A_1 \nu_1^{(0)} + \omega_0 (\lambda_1 - B_1 \nu_1^{(0)}) + s_1 - C_1 \nu_1^{(0)}, \\ \epsilon_0 \nu_2^{(0)} &= \omega_0^2 A_2 \nu_2^{(0)} + \omega_0 (\lambda_2 - B_2 \nu_2^{(0)}) + s_2 - C_2 \nu_2^{(0)}, \\ \epsilon_0 \nu_3^{(0)} &= \omega_0^2 A_3 \nu_3^{(0)} + \omega_0 (\lambda_3 - B_3 \nu_3^{(0)}) + s_3 - C_3 \nu_3^{(0)}, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $\epsilon_0$  – параметр.

Введем возмущения  $\Omega$  и  $\gamma$ :

$$\omega = \omega_0 \nu^{(0)} + \Omega, \quad \nu = \nu^{(0)} + \gamma. \quad (12)$$

Подставим  $\omega$  и  $\nu$  в уравнения (8) и рассмотрим линейную систему:

$$\begin{aligned} \dot{\Omega}_1 &= \frac{(A_2 - A_3)\omega_0 \nu_3^{(0)} - \lambda_3 + B_3 \nu_3^{(0)}}{A_1} \Omega_2 + \frac{(A_2 - A_3)\omega_0 \nu_3^{(0)} - \lambda_3 + B_3 \nu_3^{(0)}}{A_1} \Omega_3 \\ &+ \frac{(C_3 - C_2)\nu_3^{(0)} - s_3 + B_2 \nu_3^{(0)}}{A_1} \gamma_2 + \frac{(C_3 - C_2)\nu_2^{(0)} + s_2 + B_3 \omega_0 \nu_2^{(0)}}{A_1} \gamma_3, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\dot{\Omega}_2 = \frac{(A_3 - A_1)\omega_0 v_3^{(0)} + \lambda_3 - B_3 v_3^{(0)}}{A_2} \Omega_1 + \frac{(A_3 - A_1)\omega_0 v_1^{(0)} - \lambda_1 + B_1 v_1^{(0)}}{A_2} \Omega_3$$

$$+ \frac{(C_2 - C_1)v_2^{(0)} - s_2 - B_1\omega_0 v_3^{(0)}}{A_2} \gamma_1 + \frac{(C_1 - C_3)v_1^{(0)} - s_1 - B_3\omega_0 v_3^{(0)}}{A_2} \gamma_3, \quad (14)$$

$$\dot{\Omega}_3 = \frac{(A_1 - A_2)\omega_0 v_2^{(0)} - \lambda_2 + B_2 v_2^{(0)}}{A_3} \Omega_1 + \frac{(A_1 - A_2)\omega_0 v_1^{(0)} + \lambda_1 + B_1 v_1^{(0)}}{A_3} \Omega_2$$

$$+ \frac{(C_2 - C_1)v_2^{(0)} - s_2 + B_1\omega_0 v_2^{(0)}}{A_3} \gamma_1 + \frac{(C_2 - C_1)v_1^{(0)} + s_1 + B_2\omega_0 v_1^{(0)}}{A_3} \gamma_2, \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \dot{\gamma}_1 &= -v_3^{(0)}\Omega_2 + v_2^{(0)}\Omega_3 + \omega_0 v_3^{(0)}\gamma_2 - \omega_0 v_2^{(0)}\gamma_3, \\ \dot{\gamma}_2 &= v_3^{(0)}\Omega_1 - v_3^{(0)}\Omega_2 - \omega_0 v_3^{(0)}\gamma_1 + \omega_0 v_1^{(0)}\gamma_3, \\ \dot{\gamma}_3 &= -v_2^{(0)}\Omega_1 + v_1^{(0)}\Omega_2 + \omega_0 v_2^{(0)}\gamma_1 - \omega_0 v_1^{(0)}\gamma_2. \end{aligned} \quad (16)$$

Для применения теории Ляпунова, которая изложена в п. 1 и характеризуется соотношениями (1)–(7), отметим, что система (13)–(16) – правильная и поэтому выпишем ее характеристическое уравнение

$$\mu^2(\mu^4 + a\mu^2 + b) = 0. \quad (17)$$

Здесь

$$a = -\frac{1}{A_1 A_2 A_3} [E_1 A_2 A_3 + E_2 A_3 A_1 + E_3 A_1 A_2 - (A_1 \beta_1^2 + A_2 \beta_2^2 + A_3 \beta_3^2)], \quad (18)$$

$$\begin{aligned} b = & \frac{1}{A_1 A_2 A_3} [E_1 E_3 A_2 + E_2 E_1 A_3 + E_3 E_2 A_1 + 2(\epsilon_1 v_2^{(0)} v_3^{(0)} \beta_2 \beta_3 + \\ & + \epsilon_2 v_3^{(0)} v_1^{(0)} \beta_3 \beta_1 + \epsilon_3 v_1^{(0)} v_2^{(0)} \beta_1 \beta_2) - (E_1 \beta_1^2 + E_2 \beta_2^2 + E_3 \beta_3^2) - \\ & - (A_1 \epsilon_1^2 v_2^{(0)2} v_3^{(0)2} + A_2 \epsilon_2^2 v_3^{(0)2} v_1^{(0)2} + A_3 \epsilon_3^2 v_1^{(0)2} v_2^{(0)2})], \end{aligned} \quad (19)$$

где

$$\begin{aligned} \beta_1 &= v_1^{(0)} [\omega_0 (A_2 + A_3 - A_1) + B_1] - \lambda_1, \\ \beta_2 &= v_2^{(0)} [\omega_0 (A_3 + A_1 - A_2) + B_2] - \lambda_2, \\ \beta_3 &= v_3^{(0)} [\omega_0 (A_1 + A_2 - A_3) + B_3] - \lambda_3, \end{aligned} \quad (20)$$

$$E_1 = \epsilon_2 v_3^{(0)2} + \epsilon_3 v_2^{(0)2}, \quad E_2 = \epsilon_3 v_1^{(0)2} + \epsilon_1 v_3^{(0)2}, \quad E_3 = \epsilon_1 v_2^{(0)2} + \epsilon_2 v_1^{(0)2}.$$

**Заключение.** В докладе приведены результаты исследования уравнения (17) с параметрами (18)–(20) и их применение в задаче об асимптотически-равномерных движениях гиростата.

## Список литературы

1. Hadamard J. Sur certaines propriétés des trajectoires en dynamique / J. Hadamard // J. de math. Ser. 5. – 1897. – H. 3. – P. 331–387.
2. Kneser A. Studien über die Bewegungsvorgänge in der Umgebung instabiler Gleichgewichtslage (Zweiter Aufsatz) / A. Kneser // J. reine und angew. Math. – 1897. – V. 11. – H. 3. – P. 186–223.

3. Bohl P. Über die Bewegung eines mechanischen Systems in der Nähe einer Gleichgewichtslage / P. Bohl // J. reine und angew. Math. – 1904. – V. 127, H. 3. – S. 179–276.
4. Perron O. Über Stabilität und asymptotischen Verhalten der Integrale von Differentialgleichungssystem / O. Perron // Math. Zeitschrift. – 1929. – V. 29, Sat. 10. – S. 147.
5. Болотин С. В. Об асимптотических решениях уравнений динамики / С. В. Болотин, В. В. Козлов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 1. Математика, механика. – 1980. – Вып. 4. – С. 84–89.
6. Козлов В. В. Асимптотические решения уравнений классической механики / В. В. Козлов // Прикл. математика и механика. – 1982. – Т. 46, вып. 4. – С. 573–577.
7. Козлов В. В. Об асимптотических решениях уравнений классической механики / В. В. Козлов, В. П. Паломодов // Докл. АН СССР. – 1982. – Т. 263, № 2. – С. 285–289.
8. Маркеев А. П. Асимптотические траектории и устойчивость периодических движений автономной гамильтоновой системы с двумя степенями свободы / А. П. Маркеев // Прикл. математика и механика. – 1988. – Т. 52, вып. 3. – С. 363–372.
9. Маркеев А. П. О плоских и близких к плоским вращениях тяжелого твердого тела вокруг неподвижной точки / А. П. Маркеев // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. – 1988. – № 4. – С. 29–36.
10. Ляпунов А. М. Общая задача об устойчивости движения / А. М. Ляпунов. – Собр. соч. В 5 т. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – Т. 2. – С. 72–83.
11. Пуанкаре А. Новые методы небесной механики / А. Пуанкаре. – Избр. тр.: в 2-х т. – М.: Наука, 1971. – Т. 1. – 771 с.
12. Вархалев Ю.П., Горр Г.В. Асимптотически маятниковые движения гироскопа Гесса–Аппельрота / Ю.П. Вархалев, Г.В. Горр // Прикл. математика и механика. – 1984. – Т. 48, вып. 3. – С. 490–493.
13. Брюм А. З. Достаточные условия существования асимптотически маятниковых движений тяжелого твердого тела с неподвижной точкой / А. З. Брюм, Г. В. Горр // Прикл. математика и механика. – 1986. – Т. 50, вып. 4. – С. 681–684.
14. Брюм А. З. Исследование регулярной прецессии тяжелого твердого тела с неподвижной точкой первым методом Ляпунова / А. З. Брюм // Механика твердого тела. – 1987. – Вып. 19. – С. 68–72.
15. Горр Г. В. Об асимптотически-прецессионных движениях гиростата в обобщенной задаче динамики / Г. В. Горр, Д. И. Думбай // Механика твердого тела. – 1994. – Вып. 26. – С. 20–28.
16. Mettler E. Periodische und asymptotische Bewegungen des unsymmetrischen schweren Kreisels / E. Mettler // Math. Zeitschrift. – 1937. – V. 43, H. 1. – S. 59–100.
17. Вархалев Ю. П. Об асимптотически равномерных движениях твердого тела с одной неподвижной точкой / Ю. П. Вархалев, Г. В. Горр // Мат. физика и нелинейная механика. – 1989, вып. 12 (46). – С. 4–9.
18. Вархалев Ю. П. Об асимптотически равномерных движениях гиростата относительно наклонной оси / Ю. П. Вархалев, В. М. Ковалев // Механика твердого тела. – 1990. – Вып. 22. – С. 43–48.
19. Горр Г. В. Новый класс асимптотических движений тяжелого твердого тела, имеющего неподвижную точку / Г. В. Горр // Докл. АН СССР. – 1981. – Т. 260, № 6. – С. 48–51.
20. Каменков Г. В. Устойчивость движения. Колебания. Аэродинамика / Г. В. Каменков – Избр.тр.: в 2-х т. – М.: Наука, 1971. – Т. 1. – 210 с.

## О ДВИЖЕНИИ ГЛАВНЫХ ОСЕЙ ИНЕРЦИИ ГИРОСТАТА В СЛУЧАЕ РЕГУЛЯРНЫХ ПРЕЦЕССИЙ

*Горр Г.В.*<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
*Мазнев А.В.*<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук, доц.

<sup>1</sup>ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*gvgorr@gmail.com, o.mazniev@donnu.ru*

**Введение.** Прецессии твердого тела с неподвижной точкой в различных силовых полях относятся к тем программным движениям, которые наиболее полно изучены в литературе по динамике твердого тела [1]. В задачах кинематического истолкования движения твердого тела с неподвижной точкой применяются различные методы изучения свойств движения. Наиболее эффективным оказался метод Пуансо представления движения тела качением без скольжения подвижного аксоида угловой скорости по неподвижному аксоиду. Особый интерес представляет исследование движения характерных осей, связанных с твердым телом (например, барицентрических осей, главных осей инерции). В работе [2] предложен общий метод изучения движения главных осей инерции для прецессий твердого тела относительно вертикали.

**Основная часть.** При исследовании условий существования прецессий, как правило, используется прецессионная система координат, в которой вектор  $\mathbf{a}$  принимает вид:  $\mathbf{a} = (0; 0; 1)$ . В статье [2] рассмотрен метод исследования движения главных осей в случае прецессионных движений тела. Следуя этому методу, положим, что система  $Oxyz$  является главной системой координат. Тогда для вектора  $\mathbf{a}$  имеют место равенства:

$$\mathbf{a} = (\sin\mu_0 \cos\sigma_0, \sin\mu_0 \sin\sigma_0, \cos\mu_0), \quad (1)$$

где  $\mu_0, \sigma_0$  – постоянные параметры:  $\mu_0 \in (0, \pi)$ ,  $\sigma_0 \in [0, 2\pi]$ .

Уравнения Пуассона имеют вид

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

где точка над вектором  $\mathbf{v}$  обозначает относительную производную по времени  $t$ .

Запишем решение уравнения (2) в главной системе координат

$$\begin{aligned} v_1 &= a_0 \sin\mu_0 \cos\sigma_0 - a'_0 \sin\sigma_0 \cos\mu_0 \sin nt, \\ v_2 &= a_0 \sin\mu_0 \sin\sigma_0 + a'_0 \cos\sigma_0 \cos\mu_0 \sin nt, \\ v_3 &= a_0 \cos\mu_0 - a'_0 \sin\mu_0 \sin nt. \end{aligned} \quad (3)$$

Обозначим через  $u$  – угол нутации,  $v$  – угол собственного вращения,  $w$  – угол прецессии, которые характеризуют положение подвижной системы координат  $Oxyz$  с единичными векторами  $\mathbf{i}_1, \mathbf{i}_2, \mathbf{i}_3$  по отношению к неподвижной системе координат  $O\xi\eta\zeta$  с единичными векторами

$\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3 = \mathbf{v}$ . Для нахождения  $u, v, w$  используем формулы [3] в которые подставлены величины (2),(3)

$$u(t) = \arccos(a_0 \cos \mu_0 - a'_0 \sin \mu_0 \sin nt), \quad (4)$$

$$v(t) = \operatorname{arctg} \frac{a_0 \sin \mu_0 \cos \sigma_0 - a'_0 \sin \sigma_0 \cos nt + a'_0 \cos \sigma_0 \cos \mu_0 \sin nt}{a_0 \sin \mu_0 \sin \sigma_0 + a'_0 \cos \sigma_0 \cos nt + a'_0 \sin \sigma_0 \cos \mu_0 \sin nt}, \quad (5)$$

$$w(t) = mt - \operatorname{arctg} \frac{\sin \mu_0 \cos nt}{a'_0 \cos \mu_0 + a_0 \sin \mu_0 \sin nt} + \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \mu_0}{a'_0}. \quad (6)$$

Доклад посвящен изучению движения в неподвижном пространстве вектора

$$\mathbf{i}_3 = \sin u \sin w^* \mathbf{r}_1 - \sin u \cos w^* \mathbf{r}_2 + \cos u \mathbf{r}_3, \quad (7)$$

где

$$w^*(t) = w(t) - \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \mu_0}{a'_0}. \quad (8)$$

На основании соотношений (4)–(6) для вектора (7) при условии, что вектор  $\mathbf{a}$  принадлежит главной плоскости эллипсоида инерции, для которой  $\cos \mu_0 = 0, \sin \mu_0 = 1$ , и при  $\theta_0 = \frac{\pi}{2}$  ( $a_0 = 0, a'_0 = 1$ ) получим разложение по неподвижному базису в зависимости от времени  $t$ :

$$\mathbf{i}_3 = -\cos nt (\cos mt \mathbf{r}_1 + \sin mt \mathbf{r}_2) - \sin nt \mathbf{r}_3. \quad (9)$$

Рассмотрим равенство (9) при  $m = n$ . Положим

$$x_1(\tau) = -\frac{1}{2}(1 + \cos 2\tau), \quad x_2(\tau) = -\frac{1}{2}\sin 2\tau, \quad x_3(\tau) = -\sin \tau. \quad (10)$$

Тогда из (9), в силу (10), следует

$$\mathbf{i}_3 = x_1(\tau) \mathbf{r}_1 + x_2(\tau) \mathbf{r}_2 + x_3(\tau) \mathbf{r}_3, \quad (11)$$

$$\frac{d\mathbf{i}_3}{dt} = n(\sin 2\tau \mathbf{r}_1 - \cos 2\tau \mathbf{r}_2 - \cos \tau \mathbf{r}_3), \quad (12)$$

где  $\tau = nt$  (полагаем  $n > 0$ ).

Изучим проекцию годографа вектор-функции (11) на плоскость  $O\xi\eta$

$$\mathbf{R}(\tau) = x_1(\tau) \mathbf{r}_1 + x_2(\tau) \mathbf{r}_2. \quad (13)$$

В силу (10) для компонент вектора (13) имеет место соотношение

$$\left(x_1 + \frac{1}{2}\right)^2 + x_2^2 = \frac{1}{4}, \quad (14)$$

то есть годографом вектор-функции  $\mathbf{R}(\tau)$  является окружность (14). На основании (10) заключаем, что годограф  $\mathbf{R}(\tau)$  является периодической вектор-функцией с периодом по  $\tau$  равным  $\pi$ .

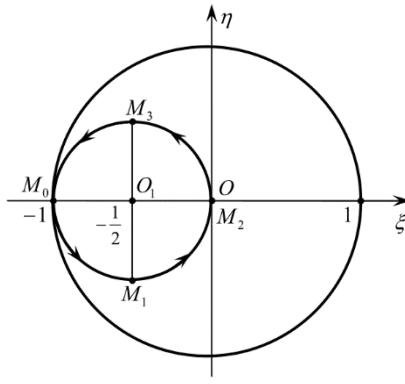


Рис. 1

На рис.1 точка  $M_0$  соответствует значению  $\tau = 0$ ; точка  $M_1 - \tau = \frac{\pi}{4}$ ; точка  $M_2 - \tau = \frac{\pi}{2}$ ; точка  $M_3 - \tau = \frac{3\pi}{4}$ . При значении  $\tau = \pi$  годограф (13) находится в точке  $M_0$ . Движение конца вектора (13) показано на рис. 1 стрелкой. В силу формулы (12) в точках  $M_0$  и  $M_2$  касательная к кривой (13) вертикальна, а в точках  $M_1$  и  $M_3$  – горизонтальна.

Рассмотрим годограф (11). Движение конца вектора (11), указанное на рис. 2 является периодическим с периодом  $2\pi$ . Отметим, что в точке  $M_0$  ветви кривой (11) пересекаются, угол между касательными к этим частям кривой можно определить из формулы (13).

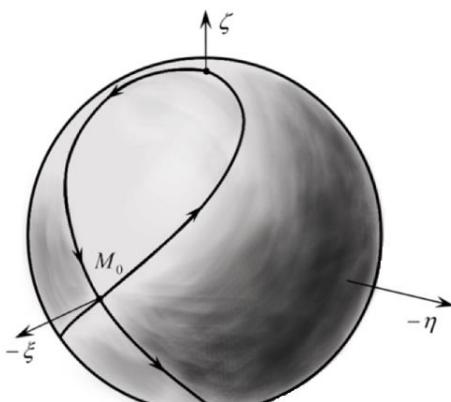


Рис.2

Следует учесть, что рис. 1,2 построены для случая  $a_0 = 0$ , то есть вектор  $\mathbf{a}$  в процессе движения тела занимает горизонтальное положение.

**Заключение.** В докладе исследованы регулярные прецессии твердого тела, имеющего неподвижную точку, в случаях  $m = n$ , где  $n$  и  $m$  – скорости собственного вращения и прецессии тела. Получены свойства движения главной оси эллипсоида инерции тела в неподвижном пространстве, которые показывают принципиальное отличие от свойств движения оси прецессии тела, которая в процессе движения образует постоянный угол с вертикалью.

### Список литературы

- Горр Г. В. Прецессионные движения в динамике твердого тела и в динамике систем связанных твердых тел / Г. В. Горр, А. В. Мазнев, Е. К. Щетинина – ДонНУ, 2009. – 222 с.
- Горр Г. В. О движении главных осей твердого тела, имеющего неподвижную точку, в случае прецессий относительно вертикали / Г. В. Горр, Т. В. Балаклицкая // Механика твердого тела. – 2019. – Вып.49. – С.55–65.
- Горр Г. В. О трех инвариантных соотношениях уравнений движения тела в потенциальном поле сил / Г. В. Горр // Прикл. математика и механика. – 2019. – Т. 83, № 2 – С. 202–214.

**АСИМПТОТИЧЕСКИ-РАВНОМЕРНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО  
ТЕЛА В РЕШЕНИЯХ А. КЛЕБША, А.М. ЛЯПУНОВА,  
В.А. СТЕКЛОВА УРАВНЕНИЙ КИРХГОФА-ПУАССОНА**

*Данилюк Д.А.*, канд. физ.-мат. наук,  
*Пилпани Ю.Ю.*, канд. физ.-мат. наук.

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

**Введение.** С помощью первого метода А.М. Ляпунова [1] возможно исследовать задачи устойчивости движений механических систем и получить условия существования асимптотических движений. Уравнения движения и обзор полученных результатов в этих задачах для равномерных вращений указаны в [2–4]. В докладе продолжено изучение асимптотически-равно-мерных движений гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил, которое начато в [5]. Получены условия существования данных движений в решениях А. Клебша, А.М. Ляпунова, В.А. Стеклова с использованием обозначений и постановки задачи, принятых в [3].

**Постановка задачи. Основные результаты.** Рассмотрим уравнения движения гиростата, имеющего неподвижную точку, под действием потенциальных и гироскопических сил [5]

$$A\dot{\omega} = (A\omega + \lambda) \times \omega + \omega \times Bv + s \times v + v \times Cv, \quad \dot{v} = v \times \omega, \quad (1)$$

где введены обозначения:  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)$  – вектор угловой скорости тела;  $v = (v_1, v_2, v_3)$  – единичный вектор оси симметрии силовых полей;  $s = (s_1, s_2, s_3)$  – вектор обобщенного центра масс;  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$  – гиростатический момент;  $A = \text{diag}(A_1, A_2, A_3)$ ,  $B = \text{diag}(B_1, B_2, B_3)$ ,  $C = \text{diag}(C_1, C_2, C_3)$  – тензор инерции и постоянные матрицы, характеризующие гироскопические и потенциальные силы соответственно; точка над переменными обозначает дифференцирование по времени  $t$ .

В данном докладе исследуются асимптотически-равномерные движения [5], предельным движением которых являются равномерные движения гиростата относительно главной оси эллипсоида гиростата  $\omega^{(0)} = \omega_0 v^{(0)}$ ,  $v^{(0)} = (v_1^{(0)}, 0, 0)$ , где  $\omega_0$  – постоянная, а  $v_1^{(0)} = \pm 1$  в силу геометрического интеграла  $v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 = 1$  уравнений (1). Равенства

$$\begin{aligned} \varepsilon_0 &= \omega_0^2 A_1 - \omega_0 B_1 - C_1 + (\omega_0 \lambda_1 + s_1) v_1^{(0)}, \\ \omega_0 \lambda_2 + s_2 &= 0, \quad \omega_0 \lambda_3 + s_3 = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

есть условия существования этих решений [5],  $\varepsilon_0$  – произвольная постоянная.

В [5] введены возмущения  $\Omega_i, \gamma_i$  ( $i = \overline{1,3}$ ):  $\omega_i = \omega_i^{(0)} + \Omega_i$ ,  $\nu_i = \nu_i^{(0)} + \gamma_i$  и рассмотрены уравнения в вариациях

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\Omega}_1 = A_1^{-1}(-\lambda_3\Omega_2 + \lambda_2\Omega_3 - s_3\gamma_2 + s_2\gamma_3), \\ \dot{\Omega}_2 = A_2^{-1}\left[\lambda_3\Omega_1 - \left((A_3 - A_1)\omega_0\nu_1^{(0)} - \lambda_1 + B_1\nu_1^{(0)}\right)\Omega_3 + s_3\gamma_1 + \left((C_1 - C_3)\nu_1^{(0)} - B_3\omega_0\nu_1^{(0)} - s_1\right)\gamma_3\right], \\ \dot{\Omega}_3 = A_3^{-1}\left[-\lambda_2\Omega_1 + \left((A_1 - A_2)\omega_0\nu_1^{(0)} + \lambda_1 - B_1\nu_1^{(0)}\right)\Omega_2 - s_2\gamma_1 + \left((C_2 - C_1)\nu_1^{(0)} + B_2\omega_0\nu_1^{(0)} + s_1\right)\gamma_2\right], \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\dot{\gamma}_1 = 0, \quad \dot{\gamma}_2 = \nu_1^{(0)}(\omega_0\gamma_3 - \Omega_3), \quad \dot{\gamma}_3 = \nu_1^{(0)}(\Omega_2 - \omega_0\gamma_2). \quad (4)$$

Свойства асимптотичности решения по Ляпунову зависят от корней характеристического уравнения системы (3), (4):  $\mu^2(\mu^4 + a\mu^2 + b) = 0$  [5], где  $\mu$  – искомый корень, а коэффициенты  $a$  и  $b$  имеют вид

$$\begin{aligned} a &= -A_1^{-1}A_2^{-1}A_3^{-1}\{A_1(A_2\varepsilon_2 + A_3\varepsilon_3) - \\ &- A_1\left[\nu_1^{(0)}(\omega_0(A_2 + A_3 - A_1) + B_1) - \lambda_1\right]^2 - A_2\lambda_2^2 - A_3\lambda_3^2\}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$b = A_1^{-1}A_2^{-1}A_3^{-1}(A_1\varepsilon_2\varepsilon_3 - \lambda_2^2\varepsilon_3 - \lambda_3^2\varepsilon_2),$$

где  $\varepsilon_2 = \omega_0^2A_2 - \omega_0B_2 - C_2 - \varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_3 = \omega_0^2A_3 - \omega_0B_3 - C_3 - \varepsilon_0$ . Обозначая  $\mu^2 = z$  и опуская кратный нулевой корень получим

$$z^2 + az + b = 0. \quad (6)$$

Целью настоящего доклада является исследование характеристического уравнения (6) для решения А. Клебша, А.М. Ляпунова и В.А. Стеклова (см. обзорную монографию [3]).

Случай А. Клебша характеризуется следующими условиями на параметры задачи:  $s_i = 0$  и  $\lambda_i = 0$  ( $i = \overline{1,3}$ ),  $B_1 = n(A_2 + A_3 - A_1)$ ,  $B_2 = n(A_3 + A_1 - A_2)$ ,  $B_3 = n(A_1 + A_2 - A_3)$ ,  $C_i = (\beta^2 - n^2)A_i$  ( $i = \overline{1,3}$ ), где  $n$  и  $\beta$  – постоянные.

Для рассмотрения асимптотически-равномерных движений твердого тела в данном случае имеем из (2), (5):

$$\begin{aligned} \varepsilon_0 &= \omega_0^2A_1 - \omega_0B_1 - (\beta^2 - n^2)A_1, \\ \varepsilon_2 &= (A_2 - A_1)[(\omega_0 + n)^2 - \beta^2], \quad \varepsilon_3 = (A_3 - A_1)[(\omega_0 + n)^2 - \beta^2]. \end{aligned} \quad (7)$$

Коэффициенты характеристического уравнения (6)  $a$  и  $b$ , с использованием соотношений (5) указаны в [5]. Дискриминант уравнения (6) с параметрами (7) имеет вид

$$\begin{aligned} D &= A_2^{-2}A_3^{-2}\{A_1^2(A_2 + A_3 - A_1)^2(\omega_0 + n)^4 + \\ &+ 2\beta^2(\omega_0 + n)^2(A_2 + A_3 - A_1)^2[2A_2A_3 - A_1(A_2 + A_3)] + \\ &+ \beta^4[A_2^2 - A_3^2 + A_1(A_3 - A_2)]^2\}. \end{aligned} \quad (8)$$

Рассмотрим значение выражения  $f(A_1, A_2, A_3) = 2A_2A_3 - A_1(A_2 + A_3 - A_1) = A_1^2(2x_2x_3 - x_2 - x_3 + 1)$ , где  $x_2 = A_2/A_1 > 0$ ,  $x_3 = A_3/A_1 > 0$ . При выполнении неравенств треугольника на моменты инерции, которые запишем, используя множество  $G(x_2, x_3)$ :  $1 + x_2 - x_3 > 0$ ,

$x_2 + x_3 - 1 > 0$ ,  $x_3 - x_2 + 1 > 0$ , функция  $f(A_1, A_2, A_3)$  принимает положительные значения. Область  $G(x_2, x_3)$  ограничена прямыми

$$g_1: x_3 = x_2 + 1; g_2: x_3 = 1 - x_2; g_3: x_3 = x_2 - 1. \quad (9)$$

Изобразим множества  $g_i$  ( $i = \overline{1,3}$ ) из (9),  $G(x_2, x_3)$ , выделенное штриховкой (рис. 1), и кривую  $f(x_2, x_3) = 0$ .

Очевидно, что уравнение  $f(x_2, x_3) = 0$  – гипербола, которая состоит из двух ветвей  $f_1(x_2, x_3)$  и  $f_2(x_2, x_3)$ , имеет асимптоты  $x_2 = 1/2$ ,  $x_3 = 1/2$  и в точках  $(0,1)$ ,  $(1,0)$  касается прямых  $g_1$ ,  $g_3$ . Поскольку  $f(0,0) > 0$ , то в области  $G(x_2, x_3)$ , функция  $f(x_2, x_3)$  принимает положительные значения. Следовательно, дискриминант уравнения (6) неотрицателен, и корни  $z_1, z_2$  – действительны.

Достаточно просто исследовать особый случай  $\omega_0 = -n$ , который характеризуется условиями  $z_1 = (A_1 - A_3)/A_2$ ,  $z_2 = (A_1 - A_2)/A_3$ . Значит, если  $A_1 < A_2$  и  $A_1 < A_3$ , то асимптотические движения тела по Ляпунову отсутствуют; если  $A_1 > A_2$  и  $A_1 > A_3$ , то имеются асимптотические решения, которые характеризуются двумя характеристическими числами  $-\sqrt{z_1}$ ,  $-\sqrt{z_2}$  и описывают асимптотически-равномерные движения тела в случае А. Клебша асимптотическими рядами А.М. Ляпунова.

Рассмотрим соотношение (8) в предположении, что  $\omega_0$  является большим параметром по сравнению с другими параметрами задачи. Из формулы (8) следует, что  $D > 0$ , т.е. корни уравнения (6) действительны. В силу доказанного свойства функции  $f(A_1, A_2, A_3)$  параметр  $a$  из (5) положителен. Поэтому асимптотически-равномерные движения тела имеют место только при  $b < 0$ , т.е. если  $(A_2 - A_1)(A_3 - A_1) < 0$ , причем ряды Ляпунова зависят только от одного характеристического показателя – отрицательного корня уравнения (6).

В докладе рассмотрено и решение А.М. Ляпунова, которое характеризуется следующими условиями на параметры:  $\lambda_i = 0$  ( $i = \overline{1,3}$ ) и  $A_3 = A_2 = A_1$ ,  $C_1 = -B_2 B_3 / A_1$ ,  $C_2 = -B_3 B_1 / A_1$ ,  $C_3 = -B_1 B_2 / A_1$ , и относительно которого доказано существование однопараметрических рядов Ляпунова, которые описывают асимптотически-равномерные движения тела.

Случай В.А. Стеклова [5] изучается аналогично случаям А. Клебша и А. М. Ляпунова. Для него параметры уравнений (1), (2) удовлетворяют

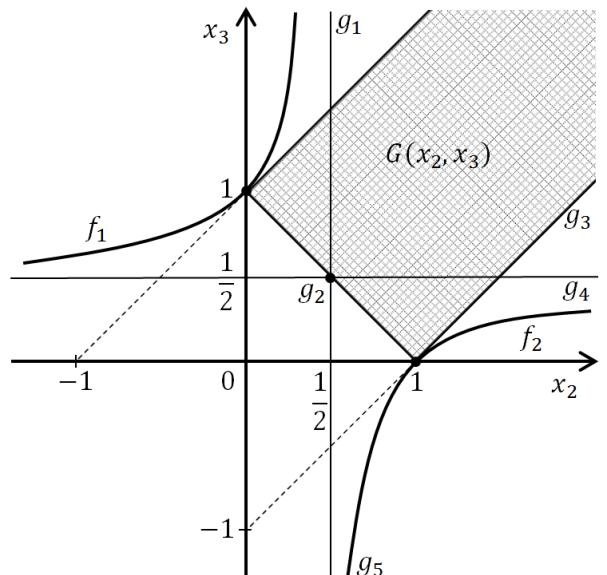


Рис.1

условиям:  $\mathbf{s} = n\lambda$ ,  $B = n(\text{Sp}(A)\delta - 2A) - \kappa A^{-1}$ ,  $C = -n^2A - n\kappa A^{-1}$ , где  $n$  и  $\kappa$  – постоянные. Приведены однопараметрические ряды Ляпунова, которые описывают асимптотически-равномерные движения гиростата.

**Заключение.** Рассмотрена задача о движении твердого тела, имеющего неподвижную точку, под действием потенциальных и гироскопических сил. Исследованы условия существования асимптотически-равномерных движений тела относительно оси симметрии силовых полей. С помощью первого метода Ляпунова получены алгебраические уравнения на параметры задачи, которые характеризуют асимптотически-равномерные движения вокруг главной оси эллипсоида инерции для решений А. Клебша, А.М. Ляпунова, В.А. Стеклова.

### Список литературы

1. Ляпунов А. М. Общая задача об устойчивости движения / А. М. Ляпунов // Собр. соч.: В 5 т.– М.; Л., Изд-во АН СССР. – 1956. – Т. 2. – С. 7–263.
2. Вархалев Ю. П. Об асимптотически равномерных движениях твердого тела с одной неподвижной точкой / Ю. П. Вархалев, Г. В. Горр // Мат. физика и нелинейн. механика. – 1989. – Вып. 12 (46) – С. 4–9.
3. Горр Г. В. Динамика гиростата, имеющего неподвижную точку / Г. В. Горр, А. В. Мазнев. – Донецк: ДонНУ, 2010. – 364 с.
4. Холостова О. В. Об устойчивости перманентных вращений Штауде в общем случае геометрии масс твердого тела / О. В. Холостова // Нелинейная динамика. – 2009. – Т. 5, № 3. – С. 357–375.
5. Горр Г. В. Об асимптотически-равномерных движениях гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил / Г. В. Горр, Т. В. Баклицкая, Д. Н. Ткаченко // Механика твердого тела. – 2020. – Вып. 50. – С. 24–42.

УДК 531.36

## ОЦЕНКИ НЕОГРАНИЧЕННЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КРИВЫХ УРАВНЕНИЯ БЕСТОКОВОЙ МОДЕЛИ СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОМОТОРА

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

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

**1. Метод сведения.** Систему обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) называют *фазовой*, если при записи в нормальном виде ее правая часть периодична по некоторым компонентам фазового вектора

(по угловым переменным) [1]. Фазовые системы ОДУ моделируют динамику многих технических объектов, в частности, электрических машин. Нормальные режимы работы таких объектов описываются стационарными решениями соответствующих ОДУ.

Если автономная фазовая система ОДУ имеет хотя бы одно стационарное решение, то она имеет по крайней мере счетное множество стационарных решений. Они получаются из исходного сдвигами на периоды по угловым переменным. Важной научной и практической задачей является установление условий, при которых любое решение фазовой системы ОДУ стремится с течением времени к одному из ее стационарных решений, то есть данная система является *системой градиентного типа* [2]. В том случае, когда фазовая система ОДУ является системой градиентного типа и имеет только одно локально асимптотически устойчивое стационарное решение (с точностью до сдвигов на периоды), ее называют *глобально устойчивой* [2].

В [1, 3] предложен *метод сведения*, который дает достаточные условия, при которых свойство глобальной устойчивости многомерной фазовой системы ОДУ следует из свойства глобальной устойчивости одного дифференциального уравнения второго порядка

$$\gamma'' = -a\gamma' - \sin \gamma - c \quad (1)$$

с двумя безразмерными параметрами  $a, c > 0$ . Штрих здесь означает дифференцирование по безразмерному времени  $\tau$ . Такое уравнение описывает простейшую бестоковую модель синхронного электромотора. В этом случае  $\gamma$  – угол рассогласования равномерно вращающегося магнитного поля статора и магнитного поля ротора электромотора.

**2. Результаты Трикоми.** Стационарные решения уравнения (1) имеют вид  $(\gamma, \gamma') = (\gamma^0, 0)$ , где  $\gamma^0$  – одно из решений уравнения  $\sin \gamma + c = 0$ . Следовательно, в случае, когда  $c < 1$ , дифференциальное уравнение (1) имеет два счетных набора стационарных решений  $(\gamma, \gamma') = (d_s, 0)$  и  $(\gamma, \gamma') = (e_s, 0)$ , где стационарные значения угла  $\gamma$  определены формулами

$$d_s = \gamma^{(0)} + 2\pi s, \quad e_s = \gamma^{(1)} + 2\pi s, \quad s = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \\ \gamma^{(0)} = -\arcsin c \in (-\pi/2, 0), \quad \gamma^{(1)} = -\pi - \gamma^{(0)} \in (-\pi, -\pi/2).$$

Из локального анализа по первому приближению следует, что стационарные точки  $(\gamma, \gamma') = (d_s, 0)$  являются для уравнения (1) асимптотически устойчивыми особыми точками типа «фокус» или «узел», а точки  $(\gamma, \gamma') = (e_s, 0)$  – это неустойчивые особые точки типа «седло».

Глобальный анализ уравнения (1), проведенный Ф. Трикоми [4], показывает, что существует *критическое значение*  $a_{cr}(c)$  параметра  $a$ , которое является непрерывной функцией параметра  $c \in (0, 1)$  и обладает следующими свойствами. В случае  $a > a_{cr}(c)$  каждое решение уравнения (1) с течением времени стремится к одной из его стационарных точек, то есть уравнение (1) глобально устойчиво. При  $a \leq a_{cr}(c)$  кроме решений,

стремящихся к стационарным, уравнение (1) имеет решения на которых угол  $\gamma$  неограниченно убывает с течением времени, так что уравнение (1) не является глобально устойчивым. В [5] с помощью компьютера получена синусоидальная аппроксимация критического значения.

Глобальная устойчивость уравнения (1) при  $a > a_{cr}(c)$  обеспечивается тем, что в этом случае через каждую седловую точку  $(e_s, 0)$  данного уравнения проходит неограниченная при  $|\gamma| \rightarrow +\infty$  интегральная кривая  $\gamma' = f_s(\gamma)$ , которая является решением дифференциального уравнения интегральных кривых

$$df / dy = -a - (\sin \gamma + c)/f \quad (2)$$

при условии  $f(e_s) = 0$  и обладает следующими свойствами

$$\begin{aligned} f_s(\gamma) &> 0 \quad (\gamma < e_s), \quad f_s(\gamma) \rightarrow +\infty \quad (\gamma \rightarrow -\infty), \\ f_s(\gamma) &< 0 \quad (\gamma > e_s), \quad f_s(\gamma) \rightarrow -\infty \quad (\gamma \rightarrow +\infty). \end{aligned}$$

Кривые  $f_s(\gamma)$  делят фазовую плоскость  $(\gamma, \gamma')$  уравнения (1) на области притяжения асимптотически устойчивых стационарных точек  $(d_s, 0)$ .

**3. Оценки.** Тот факт, что при  $a > a_{cr}(c)$  через каждую седловую точку уравнения (1) проходит неограниченная в обе стороны интегральная кривая  $f_s(\gamma)$ , является ключевым в методе сведения. Для развития этого метода необходимо более полное исследование поведения неограниченных интегральных кривых  $f_s(\gamma)$  и, в частности, получение двусторонних оценок кривых  $f_s(\gamma)$  при  $\gamma \rightarrow \pm\infty$ . Графики этих кривых получаются путем сдвигов на  $2\pi s$  из графика кривой  $f_0(\gamma)$ . На рис. 1 изображен график этой кривой, полученный путем численного интегрирования уравнения (2) при  $c = 0.1$ ,  $a = 1.1$   $a_{cr} = 0.086507$ .

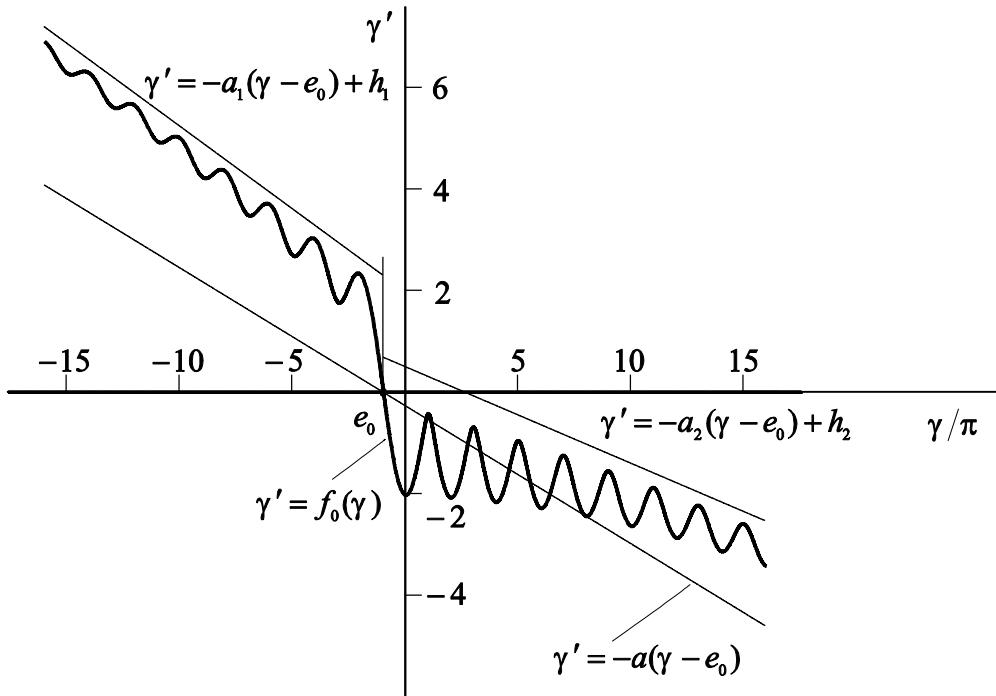


Рис. 1. Интегральная кривая  $\gamma' = f_0(\gamma)$  в случае  $a > a_{cr}(c)$

Рис. 1 указывает на то, что справедлива приведенная ниже теорема. Ее доказательство основано на получаемой из принципа сжимающих отображений оценке погрешности решения усредненного по  $\gamma$  уравнения (2).

**Теорема 1.** При достаточно больших по модулю значениях  $\gamma_{01} < e_0$ ,  $\gamma_{02} > e_0$  выполнены линейные оценки

$$-a(\gamma - e_0) \leq f_0(\gamma) \leq -a_1(\gamma - e_0) + h_1, \quad \gamma \in (-\infty, \gamma_{01}],$$

$$-a(\gamma - e_0) \leq f_0(\gamma) \leq -a_2(\gamma - e_0) + h_2, \quad \gamma \in [\gamma_{02}, +\infty),$$

где  $a_1, a_2, h_1, h_2$  – постоянные, причем  $a_1 > a > 0$ ,  $0 < a_2 < a$ .

### Список литературы

- Гелиг А. Х. Устойчивость нелинейных систем с неединственным состоянием равновесия / А. Х. Гелиг, Г. А. Леонов, В. А. Якубович. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
- Леонов Г. А. Фазовая синхронизация. Теория и приложения / Г. А. Леонов // Автоматика и телемеханика. – 2006. №~10. – С. 47–85.
- Леонов Г. А. Второй метод Ляпунова в теории фазовой синхронизации / Г. А. Леонов // Прикл. математика и механика. – 1976. – Т. 40, вып. 2. – С. 238–244.
- Tricomi F. Integrazione di unequazione differenziale presentasi in electrotechnica / F. Tricomi // Annali della Roma Scuola Normale Superiore de Pisa. –1933. – Т. 2, No. 2. – Р. 1–20.
- Коносевич Б. И. Аппроксимация критического значения параметра демпфирования для синхронного электромотора / Б. И. Коносевич, Ю. Б. Коносевич // Труды Института прикладной математики и механики. – 2014. – Т. 29. – С. 121–126.

УДК 531.38; 531.39

## ИНВАРИАНТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ НЕАВТОНОМНОГО ГИРОСТАТА

*Мазнев А.В.<sup>1</sup>,* д-р физ.-мат. наук, доц.,  
*Горбунова Ю.С.<sup>2</sup>,*

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР,

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Академия гражданской защиты», МЧС ДНР, г. Донецк, ДНР,

*yulya\_gorbunova\_1993@mail.ru, o.mazniev@donnu.ru*

**Введение.** Два линейных инвариантных соотношения уравнений Эйлера–Пуассона при  $\lambda = 0$  изучались Д.К. Бобылевым и В.А. Стекловым; при  $\lambda = const$ . П.В. Харламовым. В задаче о движении гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил, описываемой уравнениями класса Кирхгофа–Пуассона при  $\lambda = const$ . два линейных инвариантных соотношения рассматривал П.В. Харламов и С.В. Скрыпник. И.Н. Гашененко и О.С. Волкова проводили анализ условий существования двух линейных инвариантных соотношений уравнений движения неавтономного гиростата под действием силы тяжести. Они

построили решение уравнений движения, которое выражается эллиптическими функциями времени (см. обзорную монографию [1]).

В докладе построено решение уравнений движения неавтономного гиростата, характеризующееся двумя инвариантными соотношениями и линейной зависимостью гиростатического момента от компонент единичного вектора вертикали.

**Основная часть.** Запишем уравнения класса Кирхгофа–Пуассона в которых за основные переменные примем переменные  $x, v, \lambda$  [2]

$$\begin{aligned}\dot{x} &= x \times \omega + \lambda(\alpha \times \omega) - L\alpha + \omega \times Bv + s \times v + v \times Cv, \\ \dot{v} &= v \times \omega, \quad \dot{\lambda} = L,\end{aligned}\tag{1}$$

где  $\omega = ax$ ,  $a$  – гирационный тензор,  $\lambda = \lambda(t)\alpha$ ,  $\alpha$  – единичный постоянный вектор.

Уравнения (1) допускают два первых интеграла

$$v \cdot v = 1, \quad (x + \lambda) \cdot v - \frac{1}{2}(Bv \cdot v) = k,\tag{2}$$

где  $k$  – произвольная постоянная.

Поставим задачу определения условий существования у дифференциальных уравнений (1) двух линейных инвариантных соотношений вида

$$x_1 - (b_0 + b_1 v_1 + b_2 v_2 + b_3 v_3) = 0, \quad x_2 - (d_0 + d_1 v_1 + d_2 v_2 + d_3 v_3) = 0,\tag{3}$$

Рассмотрим случай, когда  $\lambda(t)$  является линейной функцией от  $v_1(t)$ ,  $v_2(t)$ ,  $v_3(t)$ , то есть положим

$$\lambda = \lambda_0 + \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2 + \lambda_3 v_3.\tag{4}$$

Воспользуемся методом инвариантных соотношений, предложенным Т. Леви-Чивитой [3].

Обозначая  $x_3 = \sigma(t)$ , продифференцируем левые части соотношений (3). В полученные уравнения подставим значение (4), уравнения Пуассона и интеграл моментов из системы (2). Потребуем, чтобы полученные уравнения выполнялись для всех значений  $v_1, v_2, v_3$ . Тогда должны выполняться равенства

$$a_{13} = 0, \quad a_{23} = 0.\tag{5}$$

Следовательно, третья координатная ось подвижной системы координат является главной. Поворот подвижной системы координат вокруг этой координатной оси не изменяет структуры инвариантных соотношений (3), то есть выбором этой системы можно добиться условия  $a_{12} = 0$ . Одновременно получены условия существования инвариантных соотношений уравнений (1). Эти условия существенно упрощаются при условиях  $\alpha_1 = 1$ ,  $\alpha_3 = \alpha_2 = 0$ . Интеграл моментов на этих условиях представим в виде

$$\sigma = v_3^{-1} \left( g_0 + g_3 v_3 + g_{33} v_3^2 \right), \quad (6)$$

где

$$g_0 = k - b_1 + B_{11}/2, \quad g_3 = -\lambda_0, \quad g_{33} = -d_2 - (B_{11} + B_{33})/2. \quad (7)$$

Уравнения Пуассона учетом выражения (6) примут вид

$$\begin{aligned} \dot{v}_1 &= v_3^{-1} \left[ a_3 g_0 v_2 + a_3 g_3 v_2 v_3 + (a_3 g_{33} - a_1 b_1) v_2 v_3^2 - a_2 d_3 v_3^3 \right], \\ \dot{v}_2 &= v_3^{-1} \left[ -a_3 g_0 v_1 - a_3 g_3 v_1 v_3 - (a_3 g_{33} - a_1 b_1) v_1 v_3^2 + a_1 b_3 v_3^3 \right], \\ \dot{v}_3 &= v_3 (a_2 d_3 v_1 - a_1 b_3 v_2). \end{aligned} \quad (8)$$

Уравнения (8) имеют первый интеграл с фиксированной постоянной:  $v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 = 1$ . Для интегрирования системы (8) необходимо найти дополнительный интеграл. Такой алгебраический интеграл можно указать, например, при дополнительном условии  $g_3 = 0$ . В силу условий существования получим равенства  $s_i = 0$  ( $i = \overline{1, 3}$ ), т.е. центр масс гиростата неподвижен. Тогда уравнения (8) допускают первый интеграл

$$a_1 b_3 v_1 + a_2 d_3 v_2 + (a_3 g_{33} - a_1 b_1) v_3 - v_3^{-1} a_3 g_0 = c, \quad (9)$$

где  $c$  – произвольная постоянная.

Введем вместо  $v_i$  переменные  $\theta$ ,  $\varphi$

$$v_1 = \sin \theta \cos \varphi, \quad v_2 = \sin \theta \sin \varphi, \quad v_3 = \cos \theta. \quad (10)$$

Используя первый интеграл (9), из системы (8) получим

$$\dot{v}_3 = -\sqrt{F(v_3)}, \quad (11)$$

$$F(v_3) = h_0 + h_1 v_3 + h_2 v_3^2 + h_3 v_3^3 + h_4 v_3^4, \quad h_0 = -a_3^2 g_0^2,$$

$$h_1 = -2c a_3 g_0, \quad h_2 = a_1^2 b_3^2 + a_2^2 d_3^2 - 2a_3 g_0 (a_1 b_1 - a_3 g_{33}) - c^2, \quad (12)$$

$$h_3 = -2c (a_1 b_1 - a_3 g_{33}), \quad h_4 = -a_1^2 b_3^2 - a_2^2 d_3^2 - (a_1 b_1 - a_3 g_{33})^2.$$

Пусть

$$\mu_0 = \sqrt{a_1^2 b_3^2 + a_2^2 d_3^2}, \quad \sin \sigma_0 = \mu_0^{-1} a_2 d_3, \quad \cos \sigma_0 = \mu_0^{-1} a_1 b_3. \quad (13)$$

Зависимость  $v_3 = v_3(t)$  определим на основе формулы (11) путем обращения интеграла

$$\int_{v_3^{(0)}}^{v_3} \frac{dv_3}{\sqrt{F(v_3)}} = -(t - t_0). \quad (14)$$

Тогда в силу (10)  $\theta(t) = \arccos v_3(t)$ , а в силу (9),(13)

$$\varphi = \sigma_0 + \arccos \frac{2 \left[ (a_1 b_1 - a_3 g_{33}) \cos^2 \theta + c \cos \theta + a_3 g_0 \right]}{\mu_0 \sin 2\theta}. \quad (15)$$

Компоненты вектора  $x$ , функцию  $\lambda(t)$  определим, используя (3), (6), (10), (14), (15)

$$\begin{aligned}x_1 &= b_1 \sin \theta \cos \varphi + b_3 \cos \theta, & x_2 &= d_2 \sin \theta \sin \varphi + d_3 \cos \theta, \\x_3 &= \cos^{-1} \theta \left( g_0 + g_{33} \cos^2 \theta \right), & \lambda &= (\lambda_1 \cos \varphi + \lambda_2 \sin \varphi) \sin \theta + \lambda_3 \cos \theta.\end{aligned}\quad (16)$$

Действительность решения (14)–(16) зависит от действительности функции  $v_3(t)$ . Поскольку  $g_0$  и  $c$  – произвольные постоянные, то принимая их достаточно малыми, можно добиться малых значений  $h_0, h_1$  и положительного значения величины  $h_2$ . Это значит, что существуют такие значения параметров задачи, для которых функция  $v_3(t)$  действительна.

### **Список литературы**

1. Горр Г. В. Движение гиростата с переменным гиростатическим моментом / Г. В. Горр, А. В. Мазнев, Г. А. Котов. – Донецк: ГУ "ИПММ", 2017. – 265 с.
2. Горр Г. В. Динамика гиростата, имеющего неподвижную точку / Г. В. Горр, А. В. Мазнев. – Донецк: ДонНУ, 2010. – 364 с.
3. Леви-Чивита Т. Курс теоретической механики: в 2 т. / Т. Леви-Чивита, У. Амальди. – М.: Изд-во иностр. лит., 1951. – Т.2, ч.2. –555 с.

УДК 615.849

## **АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ ИНВАРИАНТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ОДНОЙ ЗАДАЧИ О ДВИЖЕНИИ ГИРОСТАТА**

**Платонова Е.С.**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*e.platonova@donnu.ru*

**Введение.** Теоретическая механика в отличие от прикладной механики, которая создает методы расчетов движущихся конструкций, разрабатывает методы математического моделирования качественного поведения объектов современной техники. Для того, чтобы созданная математическая модель – система дифференциальных уравнений была доступна к анализу с помощью современных методов, в процессе постановки задачи принимают различные идеализации. Таким образом в теоретической механике были сформированы классические задачи и их обобщения: задачи о движении одного твердого тела и системы связанных твердых тел (типа гиростат) в различных силовых полях [1].

Известно, что при произвольных значениях параметров этой задачи, уравнения движения не интегрируемы в квадратурах. Это обстоятельство затрудняет решение указанной задачи динамики гиростата и объясняет актуальность построения частных решений в замкнутом виде, либо исследование ее численным интегрированием с помощью компьютерных

средств. Актуальность исследования таких частных решений связана не только с возможностью на основании уравнений П.В. Харламова установить свойства движения тела, но исследовать с помощью первого метода Ляпунова поведение интегральных кривых в окрестностях частных решений [2].

**Целью** работы является нахождение частных решений дифференциальных уравнений задачи о движении гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил отдельно выделяют решения различной полиномиальной структуры, большинство из которых являются обобщением решений полиномиального вида классической задачи динамики твердого тела и задачи движения тяжелого гиростата [3, 4].

**Основная часть.** Рассмотрим движение заряженного и намагниченного гиростата с неподвижной точкой под действием потенциальных и гироскопических сил [5]. Потенциальные силы возникают при взаимодействии магнитов с постоянным магнитным полем, электрических зарядов с электрическим полем и ньютоновском притяжении. Центры ньютоновского и кулоновского притяжений лежат на оси, проходящей через неподвижную точку и параллельной вектору, характеризующему направление постоянного магнитного поля. Гироскопические силы определяются лоренцевым воздействием магнитного поля на движущиеся в пространстве электрические заряды и циклическим движением роторов в теле – носителе. Уравнения рассматриваемого движения гиростата относятся к уравнениям класса Кирхгофа и в векторном виде с учетом ньютоновских сил имеют вид [5–7]

$$A\dot{\omega} = (A\omega + \lambda) \times \omega + \omega \times Bv + v \times (Cv - s), \quad \dot{v} = v \times \omega. \quad (1)$$

Уравнения допускают три первых интеграла

$$\begin{aligned} (A\omega \cdot \omega) - 2(s \cdot v) + (Cv \cdot v) &= 2E_0, \\ 2(A\omega + \lambda) \cdot v - (Bv \cdot v) &= 2k_0, \\ v \cdot v &= 1. \end{aligned} \quad (2)$$

В(1), (2) обозначено:  $\omega = (p, q, r)$  – угловая скорость гиростата;  $v = (v_1, v_2, v_3)$  – единичный вектор, характеризующий направление оси симметрии силовых полей;  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, 0)$  – гиростатический момент;  $s = (s_1, s_2, 0)$  – вектор обобщённого центра масс;  $A$  – тензор инерции гиростата, построенный в неподвижной точке;  $B$  и  $C$  – симметричные матрицы третьего порядка; точка над переменными обозначает относительную производную;  $E_0$  и  $k_0$  – постоянные интегралов.

**Новое частное решение.** Рассмотрим случай, когда степени полиномов решения таковы:  $n = 2, m = 4, l = 1, n_1 = 2, m_1 = 1$ .

Тогда решение примет вид [8]

$$\begin{aligned} q &= Q(p) = b_2 p^2 + b_1 p + b_0, \\ r^2 &= R(p) = c_4 p^4 + c_3 p^3 + c_2 p^2 + c_1 p + c_0, \\ v_1 &= \varphi(p) = a_1 p + a_0, \quad v_2 = \psi(p) = g_2 p^2 + g_1 p + g_0, \end{aligned}$$

$$\nu_3 = \frac{\alpha(p)}{p} \sqrt{R(p)},$$

$$\alpha(p) = f_1 p + f_0.$$

**Заключение.** В работе построено новое частное решение обобщённогополиномиального класса Докшевича дифференциальных уравнений задачи о движении гиростата с неподвижной точкой в поле действия полиномиальных и гирокопических сил. Новое решение зависит от семи свободных параметров задачи и решения, и описывается элементарными функциями времени.

### Список литературы

1. Горр Г. В. Динамика гиростат, имеющего неподвижную точку / Г. В. Горр, А. В. Мазнев. – Донецк: Издательство ДонНУ, 2010. – 364 с.
2. Харламов П. В. О различных представлениях уравнений Кирхгофа / П. В. Харламов, Г. В. Мозалевская, М. Е. Лесина // Механика твердого тела. – 2001. – Вып. 31. – С. 3–17.
3. Харламов П. В. Современное состояние и перспективы развития классических задач динамики твердого тела. / П. В. Харламов // Механика твердого тела. – 2000. – Вып. 30. – С.1–13
4. Харламов П. В. Лекции по динамике твёрдого тела / П. В. Харламов. – Новосибирск: Изд-во Новосибир. ун-та, 1965. – 221 с.
5. Горр Г. В. Полиномиальные решения в одной задаче о движении гиростата с неподвижной точкой / Г. В. Горр, А. В. Зыза / Изв. РАН. Механика твердого тела. – 1998. – № 6. – С. 12–21.
6. Зиглин С. Л. Ветвление решений и несуществование первых интегралов в гамильтоновых системах / С. Л. Зиглин // Функциональный анализ и его приложения. – 1982. – Т. 16, № 3. – С.30–41.
7. KleinF. Über die Theorie des Kreisels/F.Klein; A.Sommerfeld. – New York: Johnsonreprintcorp., 1965. – 996 р.
8. Зыза А. В. Один случай полиномиальных решений уравнений Киргоя-Пуассона / А. В. Зыза // Механика твёрдого тела. – 2010. – Вып. 40. – С. 103–109.

УДК 531.38

## ОБ УТОЧНЕНИИ ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ УПРУГОГО МОМЕНТА В ШАРИРНОМ СОЧЛЕНЕНИИ СИСТЕМЫ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

**Щепин Н.Н.**, канд. физ.-мат. наук, доц.

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

*Shchepin\_nick@mail.ru*

**Введение.** Системы связанных твердых тел (ССТТ) широко используются при исследовании проблем механики конструкций, в состав которых входят балочные элементы. При этом особенностью такого

подхода является предположение о малости относительных углов поворота двух соседних тел. Однако, если изгиб упругих элементов конструкции достаточно велик, то на практике используется теория упругих стержней, которая позволяет учесть как геометрическую нелинейность (большие углы поворота), так и совместный изгиб и кручение стержня. Для решения такого рода задач требуется модификация основных соотношений.

В последние годы модель упругого стержня широко используется при моделировании различного рода объектов в биологии, причем большое внимание уделяется нахождению замкнутых равновесных конфигураций [1–3]. Следует отметить, что получаемые при таком подходе решения имеют вид громоздких выражений и дальнейшее исследование возможно только с использованием численного анализа.

Подход с использованием ССТТ во многих задачах позволяет получить решения, которые допускают дальнейшее аналитическое исследование.

**Целью работы** являлось исследование выражения для упругого момента в шарнире, которое позволяет рассматривать как малые относительные углы поворота двух соседних тел, так и геометрически нелинейный случай деформации оси упругого стержня. Найденные соотношения могут позволить установить и исследовать новые равновесные конфигурации изучаемой системы.

**Постановка задачи.** Пусть главные оси изгиба и кручения изотропного однородного упругого стержня направлены вдоль главных осей инерции поперечного сечения. Ось стержня в недеформированном состоянии предполагается прямолинейной. В данном случае для упругого момента имеем выражение Кирхгофа – Клебша

$$\mathbf{M}(s) = c_1 [\kappa_1 \mathbf{e}_1(s) + \kappa_2 \mathbf{e}_2(s)] + c_2 \kappa_3 \mathbf{e}_3(s) \quad (1)$$

где  $\mathbf{e}_1(s)$ ,  $\mathbf{e}_2(s)$ ,  $\mathbf{e}_3(s)$  – ортогональный базис, третья ось которого направлена по касательной к оси стержня, а орты  $\mathbf{e}_1(s)$  и  $\mathbf{e}_2(s)$  – вдоль главных центральных осей инерции поперечного сечения,  $s$  – дуговая координата оси,  $c_1$  и  $c_2$  – соответственно жесткости на изгиб и кручение,  $\kappa_i$  – компоненты вектора Дарбу в базисе  $\mathbf{e}_i(s)$ .

Рассмотрим ортогональную инерциальную систему координат  $Oxuz$  с ортами  $\mathbf{e}_x(s)$ ,  $\mathbf{e}_y(s)$ ,  $\mathbf{e}_z(s)$ . Будем считать, что ось  $z$  направлена вдоль недеформированной оси стержня. Положение связанной со стержнем системы координат с ортами  $\mathbf{e}_1(s)$ ,  $\mathbf{e}_2(s)$ ,  $\mathbf{e}_3(s)$  по отношению к инерциальной системе  $Oxuz$  задаем углами Крылова  $\psi(s)$ ,  $\theta(s)$ ,  $\varphi(s)$ . Тогда компоненты вектора Дарбу имеют вид

$$\begin{Bmatrix} \kappa_1 \\ \kappa_2 \end{Bmatrix} = \psi' \cos \theta \begin{Bmatrix} \sin \varphi \\ \cos \varphi \end{Bmatrix} + \theta' \begin{Bmatrix} \cos \varphi \\ -\sin \varphi \end{Bmatrix}, \quad \kappa_3 = \varphi' - \psi' \sin \theta, \quad (2)$$

где штрихом обозначена производная по переменной  $s$ .

Пусть система  $n$  осесимметричных твердых тел, соединена в точках  $O_k$  пересечения осей симметрии соседних тел  $S_{k-1}$  и  $S_k$  упругими сферическими шарнирами. Тогда, будем считать, что аналогично закону (1.1) упругий момент в  $k$ -м шарнире имеет вид

$$\mathbf{M}_k = c_1 [\kappa_k^1 \mathbf{e}_k^1 + \kappa_k^2 \mathbf{e}_k^2] + c_2 \kappa_k^3 \mathbf{e}_k^3, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

где  $\mathbf{e}_k^1, \mathbf{e}_k^2, \mathbf{e}_k^3$  – орты связанной с телом  $S_k$  системы координат  $O_k x_k y_k z_k$ ,  $\kappa_k^1, \kappa_k^2, \kappa_k^3$  – компоненты вектора аналогичного вектору Дарбу стержня, которые получаются из соотношений (1.2) после введения замены

$$\psi' = \frac{\psi_k - \psi_{k-1}}{h_k}, \quad \theta' = \frac{\theta_k - \theta_{k-1}}{h_k}, \quad \varphi' = \frac{\varphi_k - \varphi_{k-1}}{h_k}.$$

Здесь  $h_k = O_k O_{k+1}$  – длина оси симметрии тела  $S_k$  (если все длины равны, то полагаем  $h_k = h = \text{const}$ );  $\psi_k, \theta_k, \varphi_k$  – углы Крылова, которые определяют положение связанной системы координат  $O_k x_k y_k z_k$  относительно неподвижной  $Oxyz$ , при этом значения углов  $\psi_0, \theta_0, \varphi_0$  зависят от вида граничных условий. После подстановки получим

$$\begin{aligned} \left\{ \begin{array}{l} \kappa_k^1 \\ \kappa_k^2 \end{array} \right\} &= \frac{\psi_k - \psi_{k-1}}{h_k} \cos \theta_k \left\{ \begin{array}{l} \sin \varphi_k \\ \cos \varphi_k \end{array} \right\} + \frac{\theta_k - \theta_{k-1}}{h_k} \left\{ \begin{array}{l} \cos \varphi_k \\ -\sin \varphi_k \end{array} \right\}, \\ \kappa_k^3 &= \frac{\varphi_k - \varphi_{k-1}}{h_k} - \frac{\psi_k - \psi_{k-1}}{h_k} \sin \theta_k. \end{aligned} \quad (4)$$

При этом можно отметить, что в рассматриваемом случае требуется малость не углов, как в теории балок, а их разностей  $\varphi_k - \varphi_{k-1}, \psi_k - \psi_{k-1}, \theta_k - \theta_{k-1}$ .

Если при решении задачи требуется учесть нелинейность разностей углов, определяющих относительное положение систем координат, связанных с телами  $S_{k-1}$  и  $S_k$ , вектор Дарбу можно представить в виде следующего выражения

$$\mathbf{k}(s) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \mathbf{e}_i(s) \times \frac{d\mathbf{e}_i(s)}{ds}$$

В случае конечномерной модели получим

$$\kappa_k = \frac{1}{2h_k} \sum_{i=1}^3 \mathbf{e}_{k-1}^i \times \mathbf{e}_k^i, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

С учетом выражений для направляющих косинусов между осями связанной с телом  $S_k$  и инерциальной системами координат, из выражений (5) имеем

$$\begin{aligned}
\left\{ \begin{array}{l} \kappa_k^1 \\ \kappa_k^2 \end{array} \right\} &= \frac{1}{2h_k} \left[ \sin(\psi_k - \psi_{k-1}) \left[ \cos \theta_k \begin{Bmatrix} \sin \varphi_{k-1} \\ \cos \varphi_{k-1} \end{Bmatrix} + \cos \theta_{k-1} \begin{Bmatrix} \sin \varphi_k \\ \cos \varphi_k \end{Bmatrix} \right] + \right. \\
&\quad + \cos(\psi_k - \psi_{k-1}) \left\{ \begin{Bmatrix} \cos \theta_{k-1} \sin \theta_k \cos \varphi_k - \cos \theta_k \sin \theta_{k-1} \cos \varphi_{k-1} \\ -\sin \theta_k \cos \theta_{k-1} \sin \varphi_k + \sin \theta_{k-1} \cos \theta_k \sin \varphi_{k-1} \end{Bmatrix} \right\} + \\
&\quad \left. + \sin \theta_k \cos \theta_{k-1} \begin{Bmatrix} \cos \varphi_{k-1} \\ -\sin \varphi_{k-1} \end{Bmatrix} + \sin \theta_{k-1} \cos \theta_k \begin{Bmatrix} -\cos \varphi_k \\ \sin \varphi_k \end{Bmatrix} \right] \\
\kappa_k^3 &= \frac{1}{2h_k} \left[ \cos(\psi_k - \psi_{k-1}) [1 + \sin \theta_k \sin \theta_{k-1}] \sin(\varphi_k - \varphi_{k-1}) - \right. \\
&\quad - \sin(\psi_k - \psi_{k-1}) [\sin \theta_k + \sin \theta_{k-1}] \cos(\varphi_k - \varphi_{k-1}) + \\
&\quad \left. + \cos \theta_k \cos \theta_{k-1} \sin(\varphi_k - \varphi_{k-1}) \right] \quad (6)
\end{aligned}$$

В предположении малости разности углов формулы (1.6) при линеаризации совпадают с (4).

Рассмотрим еще один случай, когда величина  $|\mathbf{e}_k^i - \mathbf{e}_{k-1}^i|$  не считается малой, но  $(\mathbf{e}_k^i - \mathbf{e}_{k-1}^i)^2$  можно пренебречь. С учетом этого предположения из соотношений (5) имеем следующие выражения:

$$\begin{aligned}
\left\{ \begin{array}{l} \kappa_k^1 \\ \kappa_k^2 \end{array} \right\} &= \frac{1}{h_k} \left[ \sin(\psi_k - \psi_{k-1}) \cos \theta_k \begin{Bmatrix} \sin \varphi_k \\ \cos \varphi_k \end{Bmatrix} + \sin(\theta_k - \theta_{k-1}) \begin{Bmatrix} \cos \varphi_k \\ -\sin \varphi_k \end{Bmatrix} \right] \\
\kappa_k^3 &= \frac{1}{h_k} [\sin(\varphi_k - \varphi_{k-1}) - \sin(\psi_k - \psi_{k-1}) \sin \theta_k] \quad (7)
\end{aligned}$$

Последовательная подстановка выражений (4), (6) и (7) в соотношения (3) дает возможность получить три различных выражения для компонентов момента  $\mathbf{M}(s)$  в упругих шарнирах.

**Заключение.** Таким образом, в работе найдены уточненные представления для упругого момента в шарирных соединениях системы твердых тел, что позволяет исследовать новые равновесные конфигурации замкнутой упругой системы.

## Список литературы

1. Wadati M. Elastic model of looped DNA / M. Wadati. H. Tsuru // Physica. – 1986. – 21D. P. 213–226.
2. Waterman M. S. Mathematical Methods for DNA Sequences / M. S. Waterman. – CRC Press, Inc. Boca Raton, FL, USA, 1989. – 283 p.
3. Starostin E. I. Symmetric equilibria of a thin elastic rod with self contacts / E. I. Starostin // Phil. Trans. K. Soc. Lon., A. – 2004. – V. 362. – P. 1317–1334.

# *Механика деформируемого твердого тела*

УДК 539.3

## **РАСЧЕТ КОЛЕБАНИЙ СПЛОШНЫХ И ПЕРФОРИРОВАННЫХ ПЛАСТИН С ДВУМЕРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

**Богачев И.В.**, канд. физ.-мат. наук, с.н.с.,

**Недин Р.Д.**, канд. физ.-мат. наук, доц.

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону, РФ

*bogachev89@yandex.ru*

Активно развивающейся отраслью современной механики являются новые функционально-градиентные материалы (ФГМ), изменение структуры и свойств которых по всему объему является непрерывным и может описываться гладкими функциями. Важнейшим преимуществом ФГМ является то, что законы изменения свойств этих материалов могут быть заранее точно спроектированы с учетом специфики области их использования. Также они лишены недостатков слоистых композитов, в процессе эксплуатации которых между слоями возникают концентраторы напряжений. В связи с этим ФГМ представляют большой интерес для множества областей, включая аэрокосмическую технику, ядерную энергетику, производство датчиков, биомедицинских имплантатов, оптоэлектронных устройств и систем поглощения энергии. В случае, когда свойства материала зависят от двух или трех координат, в современной литературе такие ФГМ называются двумерными и трехмерными, соответственно. При этом для различных пластинчатых конструкций, в частности, прямоугольной формы, наиболее распространенным случаем является именно двумерного распределения свойств. Технологии изготовления ФГМ, в частности, основанные на 3D печати, позволяют создавать объекты сложной геометрии, не используя классические технологии, в том числе литье, требующее дополнительного производства пресс-форм. Однако ввиду того, что при изготовлении ФГМ используются температурные и другие предварительные воздействия, для них зачастую характерно наличие полей предварительных напряжений (ПН) [1]. Моделирование пластин из двумерных ФГМ, для которых и механические свойства и ПН являются функциями двух координат, в настоящее время достаточно слабо развито, однако его развитие необходимо для построения теоретических основ решения задач идентификации этих характеристик.

В данной работе рассмотрены задачи о расчете установившихся колебаний сплошных и перфорированных пластин из двумерных ФГМ с учетом имеющегося в них неоднородного поля предварительных напряжений. В рамках моделирования свойства пластины и компоненты предварительного состояния в рассматриваемой плоской постановке считались функциями двух координат. На основе общей линеаризованной постановки задачи о колебаниях предварительно напряженно-деформированного тела [2] сформулирована задача об установившихся планарных колебаниях рассматриваемых пластин. Также сформулирована слабая постановка задачи, с использованием которой построена конечно-элементная схема решения прямой задачи расчета колебаний пластин. Численные решения краевых задач были реализованы с помощью метода конечных элементов в пакете FreeFem++. Для увеличения точности для перфорированных пластин использовалось локальное сгущение конечно-элементных сеток. Считалось, что предварительные напряжения возникли в результате комбинированного воздействия на пластины, поля ПН вычислялись в результате решения соответствующих вспомогательных задач статики, также реализованного в пакете FreeFem++. При решении прямых задач проведен анализ влияния факторов уровня ПН, его распределения в пластинах, площади и расположения отверстий на динамические характеристики пластин (резонансы, амплитудно-частотные характеристики, напряженно-деформированное состояние) с целью выявления оптимальных режимов нагружения и чувствительных частотных диапазонов. Полученные результаты лягут в основу разработки новых методик идентификации двумерных распределений материальных параметров и ПНС в пластинах.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №18-71-10045, <https://rscf.ru/project/18-71-10045/>.*

### **Список литературы**

1. Ватульян А. О. Предварительные напряжения: моделирование и идентификация. Монография / А. О. Ватульян, В. В. Дударев, Р. Д. Недин. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – 206 с.
2. Nedin R. D. Direct and inverse problems for prestressed functionally graded plates in the framework of the Timoshenko model / R. D. Nedin, A. O. Vatulyan, I. V. Bogachev // Math Meth Appl Sci. – 2018. – 41(4). – P. 1600–1618.

## СДВИГОВЫЕ ВОЛНЫ В ВОЛНОВОДЕ ИЗ СОСТЫКОВАННЫХ ПОД УГЛОМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНЫХ ПОЛУСЛОЕВ

*Болнокин В.Е.*<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,

*Сторожев В.И.*<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф., *Пачева М.Н.*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН», г. Москва, РФ

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*marinapacheva@mail.ru*

**Введение и цели исследования.** Один из подходов к построению теоретического численно-аналитического решения задач о распространении упругих сдвиговых волн по кусочно-однородным волноводам [1, 2] заключается в применении для компонентов составных волноводов представлений волновых полей в виде рядов по соответствующим базисным множествам бегущих и краевых стоячих нормальных волн с последующим определением коэффициентов этих рядов из алгебраизированных функциональных краевых условий контакта полуслоев. Эффективность данного подхода может быть повышена при использовании альтернативных методик алгебраизации краевых условий. Целью данной работы является описание методики алгебраизации, основывающейся на концепции обобщенной граничной ортогонализации базисных систем элементарных частных решений волновых уравнений, реализуемой применительно к волноводу, составленному из контактирующих по наклоненным торцевым поверхностям полуслоев с усложненными физико-механическими свойствами.

**Постановка задачи.** Рассматривается составной трансверсально-изотропный волновод, образуемый полуслоем  $V_1$  толщины  $2h_1$  с плоским торцом  $\Gamma_1$ , ортогональным к граням, и полуслоем  $V_2$  толщины  $2h_2$   $h_2 = h_1 \cdot \sin \alpha$  с плоской торцевой границей  $\Gamma_2$ , наклоненной на угол  $\alpha$  по отношению к его нижней плоской грани. При стыковочном наложении торцевые поверхности  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  образуют плоскость  $\Gamma$  идеального механического контакта полуслоев  $V_1$  и  $V_2$ . Составные части волновода во введенных локальных координатных системах  $Ox_1^{(j)}x_2^{(j)}x_3^{(j)}$  занимают области

$$V_1 = \{-\infty < x_1^{(1)} \leq 0, x_3^{(1)} \in [-h_1, h_1], x_2^{(1)} \in (-\infty, \infty)\},$$

$$V_2 = \{x_3^{(2)} / \operatorname{tg} \alpha \leq x_1^{(2)} < \infty, x_3^{(2)} \in [-h_2, h_2], x_2^{(2)} \in (-\infty, \infty)\},$$

а контактная поверхность  $\Gamma$  описывается соотношением  $x_3^{(1)} = x_3^{(2)} / \sin \alpha$ . Плоские граничные поверхности  $x_3^{(1)} = \pm h_1$ ,  $x_3^{(2)} = \pm h_2$  составных частей волновода свободны от напряжений. Вдоль положительного направления

координат  $Ox_1^{(1)}$  из бесконечно удаленной зоны  $x_3^{(1)} \rightarrow -\infty$  к поверхности  $\Gamma$  распространяется стационарная нормальная горизонтально поляризованная сдвиговая волна с круговой частотой  $\omega$ . При ее взаимодействии с контактной поверхностью  $\Gamma$  формируются поля отраженных и преломленных волн  $SH$ -типа. В отраженных и преломленных волнах подлежат определению комплексные амплитудные функции сдвиговых колебательных перемещений  $u_2^{(j)}(x_1^{(j)}, x_3^{(j)}, t)$ , удовлетворяющие уравнениям сдвиговых упругих колебаний антиплюской деформации для материалов трансверсально-изотропных функционально-градиентных полуслоев  $V_j$  с физико-механическими характеристиками вида

$$\tilde{c}_{44}^{(j)} = c_{44}^{(j)} \cdot \exp(\lambda_j x_3), \quad \tilde{c}_{66}^{(j)} = c_{66}^{(j)} \cdot \exp(\lambda_j x_3), \quad \tilde{\rho}_j = \rho_j \cdot \exp(\lambda_j x_3).$$

В компонентах волновода поля волновых упругих перемещений представляются в виде редуцированных разложений по базисным множествам бегущих и стоячих сдвиговых волн с неопределенными постоянными весовыми коэффициентами  $a_{pj}$ . Амплитудные характеристики этих полей в подобластиах продольных сечений  $G_j$  составляющих  $V_j$  соответственно имеют вид:

$$\begin{aligned} u_2^{(1)}(x_1, x_3) &= \phi_{m0}(x_3) \cdot \exp(ik_{1m0}x_1) + \sum_{p=1}^{N_1} \phi_{1p}(x_3) \cdot \exp(-ik_{1p}x_1) \quad (x_1, x_3) \in G_1; \\ u_2^{(2)}(x_1, x_3) &= \sum_{p=1}^{N_2} \phi_{2p}(x_3) \cdot \exp(ik_{2p}x_1) \quad (x_1, x_3) \in G_2, \\ \phi_{m0}(x_3) &= a_0(\exp(\gamma_{1m0}x_3) + \delta_{m0} \cdot \exp(\gamma_{2m0}x_3)), \\ \phi_{jp}(x_3) &= a_{pj}(\exp(\gamma_{1pj}x_3) + \delta_{pj} \cdot \exp(\gamma_{2pj}x_3)), \\ \delta_{mo} &= -[\exp(\gamma_{1mo}h) / \exp(\gamma_{2mo}h)], \quad \delta_{pj} = -[\exp(\gamma_{1pj}h) / \exp(\gamma_{2pj}h)] \\ \gamma_{qm0} &= -(\lambda_1 / 2) - (-1)^q ((\lambda_1^2 / 4) - \beta_{1m0}^2)^{1/2}, \\ \gamma_{qpj} &= -(\lambda_j / 2) - (-1)^q ((\lambda_j^2 / 4) - \beta_{jp}^2)^{1/2}, \\ \beta_{1m0}^2 &= [\rho_1 \omega^2 - c_{66}^{(1)} k_{1m0}^2] / c_{44}^{(1)}, \quad \beta_{jp}^2 = [\rho_j \omega^2 - c_{66}^{(j)} k_{jp}^2] / c_{44}^{(j)}, \\ k_{1m0} &= [( \rho_1 \omega^2 - c_{44}^{(1)} (\lambda_1^2 + m^2 \pi^2 / h^2) / 4 ) (c_{66}^{(1)})^{-1}]^{1/2}, \\ k_{jp} &= [(\rho_j \omega^2 - c_{44}^{(j)} (\lambda_j^2 + p^2 \pi^2 / h^2) / 4) (c_{66}^{(j)})^{-1}]^{1/2}, \\ c_{66}^{(j)} &= (c_{11}^{(j)} - c_{12}^{(j)}) / 2. \end{aligned}$$

Функциональные краевые условия на контактной поверхности  $\Gamma$  для амплитудных характеристик рассматриваемых полей имеют вид:

$$(u_2^{(1)}(x_1^{(1)}, x_3^{(1)}))_\Gamma = (u_2^{(2)}(x_1^{(2)}, x_3^{(2)}))_\Gamma, \quad (1)$$

$$(\tilde{c}_{66}^{(1)} \partial_1 u_2^{(1)}(x_1, x_3))_\Gamma = (\tilde{c}_{66}^{(2)} \partial_1 u_2^{(2)}(x_1, x_3))_\Gamma \quad (2)$$

$$\Gamma : \{x_1^{(1)} = 0, x_3^{(1)} \in [-h_1, h_1]\} = \{x_1^{(2)} = x_3^{(2)} / \operatorname{tg} \alpha, x_3^{(2)} \in [-h_2, h_2]\}.$$

Данные соотношения образуют систему функциональных уравнений относительно коэффициентов  $a_{p1}, a_{p2}$ , подлежащую алгебраизации на следующем этапе анализа рассматриваемой модели.

**Методика алгебраизации.** Модифицированный алгоритм алгебраизации основан на применении алгоритма обобщенной граничной ортогонализации множества функций, в ряды по которым разложены компоненты напряженно-деформированного состояния полуслоя  $V_2$ . Данный алгоритм базируется на процедуре ортогонализации систем функций по Шмидту. Используемый алгоритм ортогонализации описывается соотношениями

$$\begin{aligned} G_1^{(2)}(x_1^{(2)}, x_3^{(2)}) &= s_{11}^{-1} F_1^{(2)}(x_1^{(2)}, x_3^{(2)}), \\ G_p^{(2)}(x_1^{(2)}, x_3^{(2)}) &= (F_p^{(2)}(x_1^{(2)}, x_3^{(2)}) - \sum_{k=1}^{p-1} s_{pk} G_k^{(2)}(x_1^{(2)}, x_3^{(2)})) \cdot s_{pp}^{-1} \quad (p \geq 2), \\ s_{pk} &= (c_{pk} - \sum_{k=1}^{p-1} s_{kj} s_{pj}) \cdot s_{kk}^{-1} \quad (k < p), \quad s_{pp} = (c_{pp} - \sum_{k=1}^{p-1} |s_{pk}|^2)^{1/2}, \\ c_{pq} &= \int_{-h_1}^{h_1} ((c_{66}^{(2)})^2 (\partial G_p^{(2)}(x_1^{(2)}, x_3^{(2)}) / \partial x_1^{(2)})_\Gamma \cdot \overline{(\partial G_q^{(2)}(x_1^{(2)}, x_3^{(2)}) / \partial x_1^{(2)})_\Gamma} dx_3^{(2)}. \end{aligned}$$

После реализации процедуры ортогонализации и подстановки представлений  $u_2^{(1)}(x_1^{(1)}, x_3^{(1)})$  и  $u_2^{(2)}(x_1^{(2)}, x_3^{(2)})$  в граничные условия (1), (2), соотношение (1) поочередно умножается на функции  $(\overline{F_p^{(1)}(x_1^{(1)}, x_3^{(1)})})_\Gamma$ , соотношение (2) поочередно умножается на функции  $(\overline{\partial_1 G_q^{(2)}(x_1^{(2)}, x_3^{(2)})})_\Gamma$  и затем интегрируется по  $x_3^{(1)}$  на интервале  $x_3^{(1)} \in [-h_1, h_1]$ . В результате применения данного приема граничные условия (1), (2) сводятся к системе линейных алгебраических уравнений порядка  $N_1 + N_2$  относительно коэффициентов  $a_{p1}, a_{p2}$ .

**Заключение.** В работе представлен алгоритм решения задачи, обладающий преимуществами по точности численного решения и удобству применения методики качественного анализа свойств квазирегулярности полученной алгебраической системы.

## Список литературы

- Гетман И. П. Математическая теория нерегулярных твердых волноводов / И. П. Гетман, Ю. А. Устинов.– Ростов-на-Дону: РГУ 1999. – 142 с.
- Городецкая Н. С. Дифракция волн Рэлея-Лемба на вертикальной границе в составном упругом волноводе / Н. С. Городецкая // Акуст. віст. – 2000. – Т. 3, № 1. – С. 23–35.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ДЕЙСТВИИ ЛОКАЛЬНОЙ СИЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНУЮ ПЛАСТИНУ НА БАЗЕ $\{m,n\}$ -АППРОКСИМАЦИИ

**Бондаренко Н.С.**, канд. физ.-мат. наук, доц.

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

*n.bondarenko@donnu.ru*

Оценка технического состояния конструкций в процессе эксплуатации базируется на результатах детального исследования их напряжённо-деформированного состояния (НДС) и прочности ответственных элементов. Во многих элементах конструкций имеются концентраторы напряжений, которые возникли в процессе эксплуатации или наличие которых обусловлено технологической необходимостью. В роли таких концентраторов напряжений могут выступать, например, силовые нагрузки, имеющих сосредоточенный или локальный характер.

Классические и неклассические уточнённые теории пластин и оболочек, основанные на различных гипотезах для широкого класса краевых задач, не всегда могут с достаточной точностью описывать НДС пластин, обладающих резкой анизотропией упругих свойств, с учётом действия локальных силовых нагрузок. Обобщённая теория в варианте  $\{m,n\}$  – аппроксимации [1], основанная на разложении искомых функций в ряды Фурье по полиномам Лежандра от толщинной координаты, позволяет учесть явления, связанные с поперечными сдвигами и обжатием.

Об актуальности развития методов прочностных расчётов свидетельствуют работы последних лет [2–6].

**Постановка задачи.** Рассмотрим трансверсально-изотропную пластину толщины  $2h$  в безразмерной системе координат  $x_1, x_2, x_3$ , определённых с точностью до полутора толщины пластины  $h$ . Пластина подвергается локальному силовому воздействию по области  $\Omega$ , представляющей собой отрезок длины  $2a$ , расположенный вдоль оси абсцисс симметрично относительно начала координат:

$$\Omega = \{(x_1, x_2) : |x_1| \leq a, x_2 = 0\}. \quad (1)$$

В качестве разрешающей взята система уравнений статики на базе обобщённой теории в варианте  $\{1,2\}$  – аппроксимации для трансверсально-изотропных пластин [1]. Фундаментальное решение данной системы дифференциальных уравнений построено в статье [7].

Формула свёртки [8] для области  $\Omega$  вида (1) имеет вид

$$P(x_1, x_2) = \int_{-a}^a E(x_1 - t_1, x_2) W(t_1) dt_1,$$

где  $P$  – внутренние силовые факторы;  $E$  – силовые компоненты фундаментального решения для трансверсально-изотропной пластины;  $W$  – интенсивность распределения нагрузки в зоне локального воздействия  $\Omega$ .

Предполагаем, что края пластины находятся на значительном удалении от места приложения силовой нагрузки. Рассматриваемая нагрузка распределена равномерно ( $W \equiv 1$ ) и действует в нормальном к срединной плоскости пластины направлении.

**Анализ результатов численных исследований.** В качестве примера рассмотрена область локального нагружения вида (1) при  $a=3$ . Предполагались случаи трансверсально-изотропного ( $E^*=5$ ;  $\nu=0,3$ ;  $\nu'=0,07$ ) и изотропного материала пластины ( $E^*=1$ ;  $\nu=\nu'=0,3$ ), где  $E^*=E/E'$ ;  $E$ ,  $E'$  – модули Юнга для растяжения-скатия по направлениям в плоскости изотропии и перпендикулярно к этой плоскости;  $\nu$ ,  $\nu'$  – соответствующие этим направлениям и плоскостям коэффициенты Пуассона.

Были построены графики обобщённого усилия  $R_1$  (компоненты разложения нормального напряжения  $\sigma_z$  в ряд по полиномам Лежандра) и перерезывающих сил  $Q_{r0}$ ,  $Q_{r2}$  (компонент разложения поперечных касательных напряжений  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{yz}$  в ряды по полиномам Лежандра). Исследовалась зависимость указанных внутренних силовых факторов от параметра сдвиговой податливости  $E/G'$ , значение которого для изотропного материала пластины бралось равным 2,6, а для трансверсально-изотропного – 40; 80; 120. При этом компонента вектора объёмной силы  $F_z$  по толщине пластины изменялась по законам, соответствующим плоскому НДС

$$F_z = \frac{1}{2} \delta(x_1, x_2) P_0(x_3) \quad (2)$$

или

$$F_z = \frac{5}{2} \delta(x_1, x_2) P_2(x_3), \quad (3)$$

где  $\delta(x_1, x_2)$  – двумерная делта-функция Дирака;  $P_k = P_k(x_3)$  – полиномы Лежандра.

Проведённые расчёты свидетельствуют о том, что параметр сдвиговой податливости  $E/G'$  оказывает существенное влияние на обобщённые усилия  $R_1$ ,  $Q_{r0}$ ,  $Q_{r2}$ . С увеличением  $E/G'$  модули  $Q_{r0}$  и  $R_1$  возрастают. Абсолютная величина  $Q_{r2}$  в случае (3) с ростом  $E/G'$  убывает, а в случае (2) возрастает в непосредственной близости от области  $\Omega$  вида (1). Следовательно, с учётом разложений компонент тензора

напряжений по полиномам Лежандра [1] аналогичные закономерности будут наблюдаться в поведении поперечных касательных напряжений  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{yz}$  и нормального напряжения  $\sigma_z$ .

Таким образом, при проведении прочностных расчётов тонкостенных элементов конструкций, изготовленных из современных композитных материалов, обладающих анизотропией упругих свойств, в случае действий локальных силовых воздействий необходимо использовать обобщённые теории, учитывающие поперечные сдвиги и обжатие. Развитие методов расчётов на прочность, основанных на использовании обобщённых теорий, способствует установлению уровня эксплуатационных нагрузок, при которых гарантируется безопасная работа тонкостенных элементов конструкций с концентраторами напряжений.

### Список литературы

1. Пелех Б. Л. Слоистые анизотропные пластины и оболочки с концентраторами напряжений / Б. Л. Пелех, В. А. Лазько. – Киев: Наукова думка, 1982. – 296 с.
2. Виноградов Ю. И. Расчет на прочность ортотропных локально нагруженных оболочек / Ю. И. Виноградов // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. – 2015. – № 03. – С. 68–84.
3. Казаринов Ю. И. Прочность элементов конструкций с вырезами и повреждениями: монография / Ю. И. Казаринов. – Тюмень: ТИУ, 2017. – 188 с.
4. Коренева Е. Б. Метод компенсирующих нагрузок для решения задач об анизотропных средах / Е. Б. Коренева // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2018. – 14 (1). – С. 71–77.
5. Марчук М. В. Расчет на прочность ортотропных локально нагруженных оболочек / М. В. Марчук, Р. І. Тучапський // Математичні методи та фізико-механічні поля. – 2017. – Т. 60, вип. 4. – С. 162–177.
6. Zelensky A. G. Mathematical theory of transversally isotropic shells of arbitrary thickness at static load / A. G. Zelensky // Materials Science Forum. – 2019. – Vol. 968. – P. 496–510.
7. Bokov I. Analysis of fundamental solutions to the equations of statics constructed for transversal-isotropic plates / I. Bokov, N. Bondarenko, E. Strelnikova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – V. 2/7 (86). – P. 4–12.
8. Шевченко В. П. Методы фундаментальных решений в теории ортотропных оболочек // Концентрация напряжений (Механика композитов: В 12 т. Т. 7) / Под ред. А. Н. Гузя, А. С. Космодамианского, В. П. Шевченко. – Киев: А. С. К., 1998. – С. 159–196.

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОБОБЩЁННОЙ ТЕОРИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ СТАТИКИ ОРТОТРОПНЫХ ПЛАСТИН

**Бондаренко Н.С.**, канд. физ.-мат. наук, доц.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*n.bondarenko@donnu.ru*

В настоящее время широкое распространение получили тонкостенные конструкции, сочетающие в себе лёгкость с высокой прочностью. Элементы таких конструкций используются в различных областях современной техники – машиностроении, авиационной, космической технике и др., что обуславливает актуальность развития методов прочностных расчётов подобных конструкций. В частности, актуальными для практики являются вопросы, связанные с расчётом тонких пластин на статические и динамические силовые воздействия. Пластины при этом могут быть изготовлены из современных композитных материалов сложной структуры.

Важным требованием к конструкциям является разумное соотношение между надёжностью и экономичностью, что обусловило широкое применение анизотропных материалов для изготовления элементов конструкций. В отличие от изотропных, конструкции и детали, изготовленные из анизотропных материалов, обладают высокой несущей способностью по произвольно выбранным направлениям, что позволяет как увеличить их прочность, так и снизить вес конструкции (обеспечить экономичность).

Одним из наиболее эффективных подходов для численно-аналитического решения задач теории упругости является метод фундаментальных решений, т. е. решений, соответствующих сосредоточенным воздействиям. При этом для понижения размерности задачи для пластин и оболочек целесообразным является применение рядов Фурье по полиномам Лежандра благодаря их ортогональности [1–4].

В данной работе задача статики для ортотропной пластины в трёхмерной постановке сведена к двумерной на базе обобщённой теории, использующей метод И.Н. Векуа разложения заданных искомых функций в ряды Фурье по полиномам Лежандра  $P_k$  от толщинной координаты [5]. Такой подход обладает рядом преимуществ по сравнению с классической теорией, основанной на гипотезах Кирхгоффа-Лява, в частности, он позволяет: получать решение задач с произвольной, наперёд заданной точностью в зависимости от числа удерживаемых членов рядов Фурье; рассматривать не только тонкие пластины, но пластины средней и

большой толщины; учитывать явления, обусловленные поперечными сдвигами и обжатием.

**Постановка задачи.** Рассмотрим ортотропную пластину толщины  $2h$  в безразмерной декартовой системе координат  $x_1, x_2, x_3$ , определённой с точностью до полутолщины пластины  $h$ .

Разрешающая система уравнений статики получена на базе обобщённой теории в варианте  $\{1,0\}$ -аппроксимации [5]. Данная система для плоского напряжённого состояния, записанная в случае действия на пластину сосредоточенной силы, приложенной в начале координат, имеет вид:

$$L_{i1}u + L_{i2}v = -q_i^* \delta(x_1, x_2) \quad (i=1, 2), \quad (1)$$

где  $L_{ij}$  – дифференциальные операторы второго порядка, зависящие от  $x_1, x_2$  и упругих констант ортотропного материала;  $u, v$  – обобщённые перемещения пластины (аналоги перемещений точек срединной поверхности), являющиеся коэффициентами разложения компонент вектора перемещений в ряды Фурье по полиномам Лежандра;  $\delta(x_1, x_2)$  – двумерная дельта-функция Дирака;  $q_i^*$  – коэффициенты, характеризующие интенсивность сосредоточенного силового воздействия.

Фундаментальное решение системы (1) получено с помощью двумерного интегрального преобразования Фурье [6] и методики обращения, основанной на использовании специальных функций [7]:

$$u = \sum_{k=1}^4 a_{1k} \Psi_k; \quad v = \sum_{k=1}^4 a_{2k} \Psi_k, \quad (2)$$

где

$$\Psi_k = \ln \frac{\gamma \sqrt{\sigma_k^2 x_1^2 + x_2^2}}{2\sigma_k}; \quad \Psi_{k+2} = \arctan \left( \frac{\sigma_k x_1}{x_2} \right) \quad (k=1, 2);$$

$C = \ln \gamma = 0,5772\dots$  – константа Эйлера;

$a_{ik}, \sigma_k$  – коэффициенты, зависящие от упругих констант ортотропного материала.

**Анализ результатов численных исследований.** Проведены численные исследования влияния упругих констант ортотропного материала пластины на обобщённые перемещения (2). Рассмотрены реальные ортотропные стеклопластики С1-19-55 и С1-10-65, значения упругих констант для которых приведены в монографии [8]. Предполагалось действие сосредоточенной силы единичной интенсивности ( $q_1^* = q_2^* = 1$ ), приложенной в начале координат.

Проведённые исследования показали, что обобщённые перемещения  $u$  и  $v$  увеличиваются с возрастанием модуля сдвига  $G_{xy}$ .

Для случая плоского напряжённого состояния ортотропной пластины проведены численные исследования компонент разложения вектора перемещений в ряды Фурье по полиномам Лежандра от толщинной координаты. Проведённые исследования показали, что на обобщённые перемещения существенное влияние оказывают упругие константы ортотропного материала.

### Список литературы

1. Хома И. Ю. Растижение и сдвиг трансверсально-изотропной пьезокерамической пластины с круговым отверстием при смешанных условиях на плоских гранях / И. Ю. Хома, Т. М. Прощенко // Прикладная механика. – 2017. – Т. 53, № 6. – С. 108–120.
2. Marchuk M. V. Analysis of the Identical (in Form) Equations for Some Versions of the Theory of Plates in Polar Coordinates / M. V Marchuk, R. I. Tuchapskyy // Journal of Mathematical Sciences. – 2020. – Vol. 247, N. 1. – P. 202–222.
3. Marchuk M. V. Dynamics of Geometrically Nonlinear Elastic Nonthin Anisotropic Shells of Variable Thickness / M. V. Marchuk, R. I. Tuchapskyy // International Applied Mechanics. – 2017. – Vol. 53, N. 6. – P. 655–667.
4. Marchuk M. Numerical use of  $\{m, n\}$ -approximation method thermoelastic anisotropic thin shell theory equations represented in a special form / M. Marchuk, R. Tuchapskyy, D. Nespliak // Computers & Mathematics with Applications. – 2019. – Vol. 77, N. 10. – P. 2740–2763.
5. Пелех Б. Л. Слоистые анизотропные пластины и оболочки с концентраторами напряжений / Б. Л. Пелех, В. А. Лазъко. – Киев: Наукова думка, 1982. – 296 с.
6. Снеддон И. Преобразования Фурье / И. Снеддон. – Москва: Издательство иностранной литературы, 1955. – 668 с.
7. Хижняк В. К. Смешанные задачи теории пластин и оболочек: учебное пособие / В.К. Хижняк, В. П. Шевченко. – Донецк: ДонГУ, 1980. – 128 с.
8. Максимук О. В. Математичне моделювання та методи розрахунку тонкостінних композитних конструкцій / О. В. Максимук, Р.М. Махніцький, Н. М. Щербина. – Львів: Національна академія наук України. Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, 2005. – 396 с.

УДК 004.942+536.2

## КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ОРТОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЕ ПРИ СОСРЕДОТОЧЕННОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ, ПРИВОДЯЩИМ К ИЗГИБУ

**Гольцев А.С.**, д-р физ.-мат. наук, проф.

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

*a.goltsev@donnu.ru*

Компьютерное моделирование такого технологического процесса, как сварка, является актуальной задачей. Для пластин и оболочек средней и большей толщины нагрев по толщине осуществляется неравномерно, что

приводит к температурному изгибу в зоне сосредоточенного нагрева. Характер распределения температурного поля и внутренних силовых факторов во многом зависит от свойств материала, подвергаемого сварочному процессу, и от условий теплообмена с внешней средой. Влияние всех этих факторов на характеристики сварочного процесса удобно исследовать на компьютерных моделях для простейшего случая сосредоточенного нагрева, приводящего к изгибу.

Данная работа посвящена методам построения компьютерной модели температурного поля в ортотропной пластине, подвергнутой сосредоточенному температурному нагреву, приводящему к изгибу.

Пусть дана тонкая ортотропная пластина толщиной  $2h$ , находящаяся в тепловом контакте с внешней средой нулевой температуры. Будем рассматривать случай симметричного теплообмена с внешней средой, когда параметры теплообмена на верхней и нижней лицевых поверхностях пластины одинаковы. Пластина нагревается источниками тепла объёмной плотности  $W_0$ , которые по толщине пластины распределены по закону нечётной функции. В этом случае температура пластины ( $T$ ) изменяется по толщине и определяется лишь температурным моментом ( $T_2$ ) [1, 2].

$$T(x, y, z) = \frac{z}{h} T_2(x, y); \quad T_2(x, y) = \frac{3}{2h^2} \int_{-h}^h z T(x, y, z) dz.$$

Уравнение теплопроводности ортотропных пластин в рассматриваемом случае будет наиболее простым. В безразмерной системе координат  $x_i$  ( $i = \overline{1, 3}$ ), определённой с точностью до величины  $h$  и совмещённой с главными осями теплопроводности, оно имеет следующий вид [3]:

$$\Delta_\lambda T_2(x_1, x_2) - 3(1 + \mu_1) T_2(x_1, x_2) = -3W_2^* \delta(x_1, x_2), \quad (1)$$

где

$$\Delta_\lambda = \lambda_1 \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \lambda_2 \frac{\partial^2}{\partial x_2^2}; \quad \lambda_1 = \frac{\lambda_{11}}{\lambda_{33}}; \quad \lambda_2 = \frac{\lambda_{22}}{\lambda_{33}};$$

$$W_2(x_1, x_2) = \frac{1}{2\lambda_{33}} \int_{-1}^1 x_3 W_0(x_1, x_2, x_3) dx_3;$$

$\mu_1 = Bi$  – критерий Био на лицевых поверхностях  $x_3 = \pm 1$ ;  $\lambda_{11}$ ,  $\lambda_{22}$ ,  $\lambda_{33}$  – главные коэффициенты теплопроводности;  $W_2$  – плотность источников температурного момента.

Сосредоточенное температурное воздействие в рассматриваемом случае определяется распределением объёмных источников тепла только по толщинной координате в одной точке срединной поверхности пластины. Действие такого источника тепла моделируется с помощью дельта-функции Дирака ( $\delta$ ) путём следующего представления плотности источников температурного момента:

$$W_2(x_1, x_2) = W_2^* \delta(x_1, x_2), \quad (2)$$

где  $W_2^*$  – интенсивность сосредоточенного “изгибного” источника тепла.

Предполагаем, что место сосредоточенного температурного воздействия находится на значительном удалении от границ пластины и температурное поле на внешнем граничном контуре пластины пренебрежимо мало, поэтому пластину можно считать бесконечной.

Решение уравнения (1) с правой частью (2) найдено методом двумерного интегрального преобразования Фурье. В полярной системе координат  $(r, \phi)$  оно имеет следующий вид [3]:

$$T_2(r, \phi) = \frac{3W_2^*}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \cos 2n\phi \int_0^{\pi/2} \frac{1}{\lambda^2(\theta)} G_{n,n}(a(\theta)r) \cos 2n\theta d\theta; \quad (3)$$

$$\varepsilon_0 = 1; \quad \varepsilon_n = 2, n \geq 1; \quad a(\theta) = \sqrt{3(1 + \mu_1)} / \lambda(\theta);$$

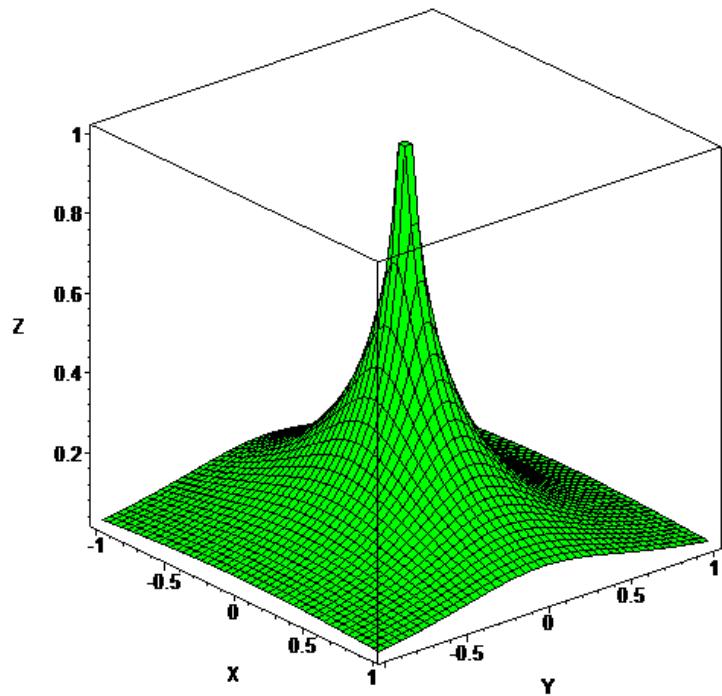
$$\lambda^2(\theta) = \lambda_1 \cos^2 \theta + \lambda_2 \sin^2 \theta.$$

Здесь  $G_{n,n}(z)$  – специальная G-функция [4]. Программа расчёта температуры по формуле (3) реализована на языке C++.

Для того чтобы построить компьютерную модель распределения температуры от действия сосредоточенного «изгибного» источника тепла использованы возможности системы компьютерной математики Maple [5]. Графическая структура трёхмерной графики типа GRID, входящая в опции команды PLOT3D, позволяет отображать поверхность над участком координатной плоскости, ограниченной отрезками вдоль координатных осей. Значения отображаемой поверхности (значения координаты  $z$  поверхности) задаются переменной-списком для равноотстоящих точек координатной плоскости.

Если функция расчёта точек поверхности имеет особенность в начале координат, например, температура по формуле (3), то сетка точек расчёта выбирается так, чтобы начало координат не попадало в точку расчёта.

Пример визуализации температурного поля в квадрате  $2 \times 2$  от действия сосредоточенного “изгибного” источника тепла в начале координат, мощностью  $W_2^* = 1$ , представлен на рисунке.



Характеристики материала и внешней среды брались следующими:  $\lambda_1 = 2,31$ ;  $\lambda_2 = 1$ ;  $Bi = 0,001$  (сильная термоизоляция).

Построенная компьютерная модель ярко демонстрирует неравномерность распределения температуры вдоль главных направлений теплопроводности (оси  $x$  и  $y$ ). На одинаковом расстоянии от источника тепла (1 единица) температура вдоль оси  $x$  намного больше, чем по оси  $y$ .

Компьютерная модель позволяет наглядно демонстрировать особенности распределения температурного момента в пластинах из различных ортотропных материалов в широком диапазоне значений теплообмена с окружающей средой.

### **Список литературы**

1. Подстригач Я. С. Неустановившиеся температурные поля и напряжения в тонких пластинах / Я. С. Подстригач, Ю. М. Коляно. – К.: Наук. думка, 1972. – 308 с.
2. Подстригач Я. С. Обобщённая термомеханика / Я. С. Подстригач, Ю. М. Коляно. – К.: Наук. думка, 1976. – 311 с.
3. Гольцов А. С. Фундаментальное решение уравнений теплопроводности ортотропных пластин в общем случае теплообмена / А. С. Гольцов // Современные проблемы механики сплошной среды. Тр. III межд. конф., г. Ростов-на-Дону, 7-9 октября 1997 г. – Ростов-на-Дону: МП «Книга», 1997. – Т. 1. – С. 97-101.
4. Хижняк В. К. Смешанные задачи теории пластин и оболочек / В. К. Хижняк, В. П. Шевченко. – Донецк: ДонНУ, 1980. – 128 с.
5. Дьяконов В. П. Maple 10/11/12/13/14 в математических расчётах / В. П. Дьяконов. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 800 с.

УДК 539.3

## **ВЯЗКОУПРУГОЕ СОСТОЯНИЕ ПЬЕЗОПЛАСТИНКИ С ОТВЕРСТИЯМИ И ТРЕЩИНАМИ**

*Калоеров С.А.*, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
*Глушанков Е.С.*, канд. физ.-мат. наук, *Полянский М.А.*,  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*kaloerov@mail.ru*

Пластинки из пьезоматериалов с отверстиями получили широкое применение в различных областях современной науки и техники, что послужило причиной разработки методов исследования их электромагнитоупругого состояния (ЭМУС) при различных механических и электромагнитных воздействиях [1]. Но это состояние может существенно меняться со временем после приложения исходного воздействия. Поэтому необходима разработка методов определения

вязкоупругого состояния таких пластин, позволяющих исследовать ЭМУС в любой момент времени после начала загружения. В статье [2] предложен метод решения задачи линейной вязкоупругости методами комплексных потенциалов, методом рядов решена задача для пластиинки с одним эллиптическим отверстием. Методами комплексных потенциалов в данной работе получено решение задачи для многосвязной пьезопластиинки.

**Постановка и метод решения задачи.** Рассматривается отнесенная к прямоугольной декартовой системе координат  $Oxyz$  бесконечная пьезопластина с произвольно расположенными эллиптическими отверстиями  $L_l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) с полуосами  $a_l, b_l$ , находящаяся под действием самоуравновешенных на каждом контуре отверстия механических и электромагнитных воздействий и действии на бесконечности поля, определяемого заданными напряжениями  $\sigma_x^\infty, \sigma_y^\infty, \tau_{xy}^\infty$  и компонентами векторов индукций  $D_x^\infty, D_y^\infty, B_x^\infty, B_y^\infty$  или напряженностей  $E_x^\infty, E_y^\infty, H_x^\infty, H_y^\infty$  электромагнитного поля. По упругим свойствам пластиинка является вязкоупругой, электромагнитные свойства материала с течением времени не изменяются.

Если для решения рассматриваемой задачи линейной вязкоупругости использовать комплексные потенциалы электромагнитовязкоупругости [1], то определение ее ЭМУС сводится к нахождению комплексных потенциалов  $\Phi_k(z_k)$  ( $k = \overline{1, 4}$ ) обобщенных комплексных переменных

$$z_k = x + \mu_k y, \quad (1)$$

где  $\mu_k$  – корни известного характеристического уравнения 8-го порядка. При этом комплексные потенциалы представляются рядами

$$\Phi_k(z_k) = \sum_{j=0}^{\infty} \lambda^j \Phi_{jk}(z_k) \quad (2)$$

по малому параметру  $\lambda = v_{12}^* - v_{12}^0$ , равному разности текущего значения коэффициента Пуассона  $v_{12}^*$  и его мгновенно-упругого значения  $v_{12}^0$ ;  $\Phi_{jk}(z_k)$  – комплексные потенциалы приближений, которые после соответствующих конформных отображений внешности единичного круга на внешности эллипсов  $L_{kl}$ , полученных из  $L_l$  аффинными преобразованиями (1), и разложений голоморфных функций в ряды Лорана во внешностях кругов принимают вид

$$\Phi_{jk}(z_k) = \Gamma_{jk} z_k + \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^{\infty} a_{kln} \varphi_{kln}(z_k), \quad (3)$$

в котором  $\Gamma_{jk}$  – известные постоянные;  $\varphi_{kln}(z_k)$  – известные функции, построенные на основе конформных отображений и разложений функций

в ряды Лорана;  $a_{klm}$  – неизвестные постоянные, определяемые из граничных условий на контурах отверстий.

В работе для удовлетворения граничным условиям используется обобщенный метод наименьших квадратов. При этом на каждом из контуров  $L_p$  выбирается система точек  $M_{pm}(x_{pm}, y_{pm})$  ( $p = \overline{0, L}; m = \overline{1, M_p}$ ), в которых удовлетворяются граничные условия, и нахождение постоянных  $a_{klm}$  сводится к решению переопределенной системы линейных алгебраических уравнений вида. Последняя система решается методом сингулярных разложений. После решения системы по известным функциям  $\Phi_{jk}(z_k)$  и степеням малого параметра  $\lambda$  вычисляются функции (2) а по ним и основные характеристики ЭМУС (напряжения, индукции и напряженности электрического и магнитного полей) в любой момент времени. При этом, если некоторый эллипс  $L_l$  переходит в прямолинейный разрез-трещину, то для его концов вычисляются также коэффициенты интенсивности напряжений, индукций и напряженностей (КИНИН). При вычислении малого параметра используются известные формулы [3]

$$\lambda = D_1 \cdot \mathcal{E}_\alpha^*(-\beta_1^* - \delta_1^*) + D_2 \cdot \mathcal{E}_\alpha^*(-\beta_2^*),$$

$$D_1 = \frac{\delta_1^*}{4} \left[ \frac{E_1^0}{E_2^0} \frac{\delta_2^*}{\beta_1^* - \beta_2^* + \delta_1^*} + 1 - 4v_{12}^0 \right], \quad D_2 = \frac{\delta_1^*}{4} \frac{E_1^0}{E_2^0} \frac{\beta_1^* - \beta_2^*}{\beta_1^* - \beta_2^* + \delta_1^*}.$$

в которых  $E_i^0$  ( $i = \overline{1, 2}$ ) – мгновенно-упругие значения  $E_i$ ;  $\beta_i^*$ ,  $\delta_i^*$  – реологические постоянные материала, связанные с изменением  $E_i$  во времени.

**Описание результатов численных исследований.** Проведены численные исследования ЭМУС для пластинок с различным набором отверстий и трещин. Получены многочисленные результаты, показывающие существенное влияние времени на ЭМУС пластин. В частности, рассматривалось растяжение на бесконечности вдоль оси  $Oy$  пластины с одним круговым отверстием, т. е. когда на бесконечности  $\sigma_y^\infty = p$ ,  $\sigma_x^\infty = \tau_{xy}^\infty = \omega_3^\infty = 0$ ,  $E_x^\infty = E_y^\infty = H_x^\infty = H_y^\infty = 0$ .

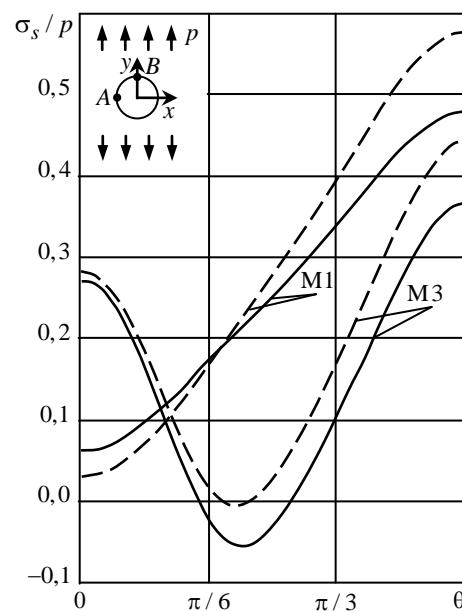
Численные исследования проводились для пластины из композита на основе  $BaTiO_3 - CoFe_2O_4$  (М1) и композита на основе  $PZT - 4$  и  $CoFe_2O_4$  (М3) [2]. При проведении расчетов количество приближений  $j$  по степеням малого параметра  $\lambda$  увеличивалось до тех пор, пока последующее приближение изменяло максимальные значения напряжений предыдущего приближения более, чем на 0,01%. Для этого в рассмотренных случаях необходимо было оставлять от 5 до 10 приближений (степеней малого параметра  $\lambda$ ).

На рисунке изображены графики распределения напряжений  $\sigma_s$  по контуру для начального (сплошные линии) и стационарного (штриховые линии) состояния. Из анализа результатов следует, что уже через 200 час. напряжения в пластинке с течением времени практически не изменяются, т.е. в ней устанавливается стационарное состояние. Но значительные изменения напряжений происходят лишь в первые 20 час. При переходе в стационарное состояние значения напряжений изменяется значительно. Так, значения  $\sigma_s$  в точке A для пластины из материала M1 изменяются на 51 %, для пластины материала M3 – на 3 %. Эти же изменения в точке B составляют, соответственно, 21 % и 21 %.

Заметим, что полученные значения основных характеристик для частных случаев совпадают с известными из литературы для изотропных и анизотропных пластиночек.

#### Список литературы

- Калоеров С. А. Двумерная задача электромагнитоупругости для многосвязных сред / С. А. Калоеров, А. В. Петренко // Мат. методы и физ.-мех. поля. – 2008. – Т. 51, № 2. – С. 208–221.
- Калоеров С. А. Задача электромагнитовязкоупругости для многосвязных пластин / С. А. Калоеров, А. А. Самодуров // Прикладная механика. – 2015. – Т. 51, № 6.– С. 623–639.
- Калоеров С. А. Термовязкоупругое многосвязной анизотропной пластиинки / С. А. Калоеров, О. А. Паршикова // Прикладная механика. – 2012. – Т. 48, № 3. – С. 103–116.



УДК 539.3

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТОУПРУГОМ ИЗГИБЕ ТОНКОЙ ПЛИТЫ С ОТВЕРСТИЯМИ

*Калоеров С.А.*, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
*Мироненко А.Б.*, канд. физ.-мат. наук, *Сероштанов А.В.*,  
 ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*kaloerov@mail.ru*

Тонкие плиты из пьезоматериалов с отверстиями широко используются в различных областях современной науки и техники. Под действием

различных поперечно изгибающих воздействий в них могут возникать высокие концентрации напряжений и индукций, предварительная оценка которых необходима при проектировании различных конструкций современной техники. В статье [1] впервые предложен метод исследования электромагнитоупругого состояния (ЭМУС) тонких плит, а в работе [2] на его основе решены конкретные задачи для односвязных плит. В данной работе дано решение задачи для плиты с любыми отверстиями. Описаны результаты исследований для круговой кольцевой плиты.

**Постановка и метод решения задачи.** Рассматривается тонкая электромагнитоупругая плита, ограниченная внешним контуром  $L_0$  и контурами произвольно расположенных эллиптических отверстий  $L_l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) с полуосами  $a_l, b_l$ , которые в частном случае могут переходить в трещины или аппроксимировать контуры отверстий произвольной конфигурации. Плита находится под действием приложенных к контурам механических изгибающих моментов, поперечных сил, моментов электрической и магнитной индукций.

Для решения задачи используются комплексные потенциалы  $W'_k(z_k)$  ( $k = \overline{1, 4}$ ) обобщенных комплексных переменных  $z_k = x + \mu_k y$ , где  $\mu_k$  – корни известного характеристического уравнения 8-го порядка [1]. При этом для функций получены представления

$$W'_k(z_k) = \sum_{l=0}^L \sum_{n=1}^{\infty} a_{kln} \Phi_{kln}(z_k), \quad (1)$$

в которых  $\Phi_{kln}(z_k)$  – известные функции, построенные на основе конформных отображений и разложений функций в ряды Лорана и по полиномам Фабера;  $a_{kln}$  – неизвестные постоянные, определяемые из граничных условий на контурах рассматриваемой области.

Границные условия удовлетворяются обобщенным методом наименьших квадратов. Для этого на каждом из контуров  $L_p$  выбирается система точек  $M_{pm}(x_{pm}, y_{pm})$  ( $p = \overline{0, L}; m = \overline{1, M_p}$ ), в которых удовлетворяются граничные условия. На этой основе нахождение постоянных  $a_{kln}$  сведено к решению переопределенной системы линейных алгебраических уравнений вида

$$\begin{aligned} 2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 \sum_{l=0}^L \sum_{n=1}^{\infty} g_{ikp} \delta_{k,s} \Phi'_{kln}(t_{kpm}) a_{kln} &= \frac{df_{ip}(t_{pm})}{ds} \\ (i = \overline{1, 4}; p = \overline{0, L}; m = \overline{1, M_p}), \\ 2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 i a_{kp1} &= 0 \quad (p = \overline{1, L}). \end{aligned} \quad (2)$$

Эта система решается методом сингулярных разложений и после ее решения по известным формулам [1] вычисляются основные характеристики ЭМУС (механические изгибающие и крутящий моменты, моменты индукций электрического и магнитного полей, перерезывающие силы). При этом, если некоторый эллипс  $L_q$  переходит в прямолинейный разрез-трещину, то для его концов вычисляются также коэффициенты интенсивности моментов (КИМ).

**Описание результатов численных исследований.** Численные исследования проведены для плит различной геометрии из различных пьезоматериалов. При проведении этих исследований количество членов в бесконечных рядах (1) и количество точек  $M_p$  на каждом из контуров  $L_p$ , в которых удовлетворялись краевые условия при получении системы уравнений (2), увеличивались до тех пор, пока граничные условия на контурах не удовлетворялись с достаточно высокой степенью точности (модуль абсолютной погрешности не превышал  $10^{-3}$ ). Как показали численные исследования, для такого удовлетворения граничным условиям в зависимости от близости концентраторов напряжений друг к другу в рядах (1) достаточно было оставлять от 10 до 100 членов для каждого отверстия и брать на каждом из контуров от 100 до 500 точек. Исследования проводились для задач ЭМУ, ЭУ, МУ, ТУ. Здесь результаты расчетов описаны только для задач ЭМУ и ТУ, так как, как показали численные исследования, учет электрических свойств материала незначительно влияет на значения основных характеристик ЭМУС (значения величин для задач ЭУ и ТУ близки друг другу), тогда как учет магнитных свойств существенно влияет на эти значения (значения величин для задач ЭМУ и МУ близки друг другу). Здесь описываются лишь некоторые из полученных результатов для плиты из наиболее анизотропного по упругим свойствам («степень анизотропии» характеризуется степенью отличия отношения  $s_{11}/s_{22}$  от 1) композита, упругие, пьезоэлектрические и электрические постоянные которого соответствуют кадмию селедиума  $CdSe$ , а пьезомагнитные и магнитные –  $BaTiO_3$ .

На рисунке для кругового кольца с внешним контуром  $L_0$  радиуса  $a_0$  ( $b_0 = a_0$ ) и внутренним контуром  $L_1$  радиуса  $a_1$  ( $b_1 = a_1$ ) при изгибе под действием изгибающих моментов  $m_0$  по контуру  $L_0$  с точностью до множителя  $m_0$  приведены значения изгибающих моментов  $M_s$  в точке А внутреннего контура для задач ЭМУ (сплошная кривая) и ТУ (штриховая линия), в зависимости от отношения  $a_1/a_0$ . Как следует из рисунка и других полученных результатов, при увеличении радиуса контура отверстия  $L_1$  (при сужении ширины кольца) значения основных характеристик ЭМУС вблизи отверстия резко возрастают, около внешнего контура увеличиваются незначительно. Учет пьезосвойств материала

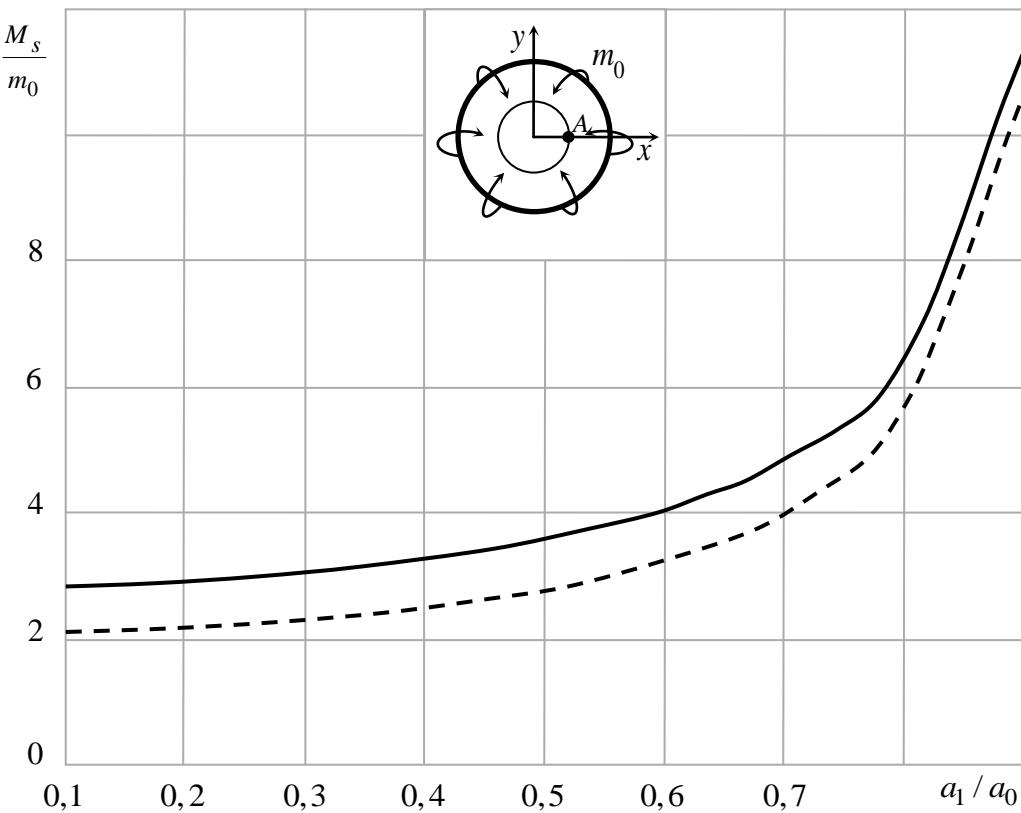


Рис. Графики изменения момента  $M_s / m_0$  в точке А  
внутреннего контура кольца. Сплошная линия соответствует  
задаче ЭМУ, штриховая – задаче ТУ

значительно влияет на значения изгибающих моментов. Следовательно, при решении вопросов прочности элементов конструкций с отверстиями из пьезоматериалов нельзя ограничиваться решением задачи ТУ, а нужно решать задачу ЭМУ. Также установлено, что с уменьшением радиуса отверстия (с увеличением ширины кольца) значения основных характеристик ЭМУС около внешнего контура уменьшаются и при радиусах внутренней окружности, меньших радиуса внешнего контура более 10 ( $a_1 / a_0 < 0,01$ ) влиянием отверстия на ЭМУС около внешнего контура кольца незначительно и им можно пренебречь.

### Список литературы

1. Калоеров С. А. Комплексные потенциалы теории изгиба тонких электромагнитоупругих плит / С. А. Калоеров // Вестн. ДонНУ. Сер. А. Естеств. науки. – 2019. – № 3-4. – С. 37–57.
2. Калоеров С. А. Точные аналитические решения задач изгиба тонких электромагнитоупругих односвязных плит / С. А. Калоеров, А. В. Серощтанов // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Матер. V Междунар. науч. конф., Донецк, 17–18 нояб. 2020 г. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2020. – Т. 1: Физ.-мат. и техн. науки. – Ч. 1. – С. 71–73.

## ОБ ОБОБЩЕННОЙ ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩЕЙ СИЛЕ

*Мирончук А.И.*, канд. физ.-мат. наук,  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*a.zanko@donnu.ru*

**Введение.** В настоящей работе с использованием теории изгиба тонких плит и комплексных потенциалов было получено соотношение для нахождения обобщенных перерезывающих сил. Проведены численные исследования распределения обобщенных перерезывающих сил около контуров отверстий.

**Постановка задачи.** Рассмотрим тонкую анизотропную плиту постоянной толщины  $2h$ , имеющую в каждой точке плоскость упругой симметрии, параллельную срединной плоскости. Отнесем плиту к прямоугольной системе координат  $Oxyz$ , плоскость  $Oxy$  которой совместим со срединной плоскостью. Срединная поверхность плиты занимает многосвязную область  $S$ , ограниченную гладкими контурами  $L$ . Плита находится под действием приложенных к боковой поверхности изгибающих моментов и поперечных сил. В частном случае, когда  $L_0$  полностью уходит в бесконечность, будем рассматривать бесконечную многосвязную плиту. В последнем случае будем считать, что на бесконечности действуют изгибающие моменты  $M_x^\infty = m_x$ ,  $M_y^\infty = m_y$ ,  $H_{xy}^\infty = h_{xy}$ , а главный вектор всех приложенных к плите поперечных сил равен нулю.

Определение напряженного состояния рассматриваемой плиты с использованием комплексных потенциалов сводится к нахождению функций  $W_k(z_k)$  ( $k=1, 2$ ) обобщенных комплексных переменных  $z_k$  из соответствующих граничных условий. После нахождения этих функций, основные характеристики изгиба плит (прогиб, моменты, перерезывающие силы) вычисляются по формулам [1–3]

$$w = 2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 W_k(z_k); \quad (1)$$

$$(M_x, M_y, H_{xy}) = -2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 (p_k, q_k, r_k) W_k''(z_k); \quad (2)$$

$$(N_x, N_y) = -2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 (\mu_k s_k, -s_k) W_k'''(z_k), \quad (3)$$

$$\begin{aligned} p_k &= D_{11} + 2D_{16}\mu_k + D_{12}\mu_k^2, & q_k &= D_{12} + 2D_{26}\mu_k + D_{22}\mu_k^2, \\ r_k &= D_{16} + 2D_{66}\mu_k + D_{26}\mu_k^2, \\ s_k &= -D_{16} - (D_{12} + 2D_{66})\mu_k - 3D_{26}\mu_k^2 - D_{22}\mu_k^3; \end{aligned} \quad (4)$$

$\mu_k$  ( $k=1, 2$ ) – корни характеристического уравнения

$$D_{22}\mu^4 + 4D_{26}\mu^3 + 2(D_{12} + 2D_{66})\mu^2 + 4D_{16}\mu + D_{11} = 0; \quad (5)$$

$D_{ij}$  – жесткости плиты, зависящие от постоянных материала

**Построение решения.** Пусть на краю с контуром  $L_l$  заданы изгибающие и скручивающие моменты  $m_l(s)$ ,  $h_l(s)$  и поперечные силы  $p_l(s)$ , т.е. на контуре  $L_l$

$$M_n = m_l(s), \quad H_{ns} = h_l(s), \quad N_n = p_l(s). \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} M_n &= M_x \cos^2 nx + M_y \cos^2 ny + 2H_{xy} \cos nx \cos ny, \\ H_{ns} &= (M_y - M_x) \cos nx \cos ny + H_{xy} (\cos^2 nx - \cos^2 ny); \end{aligned} \quad (7)$$

$$N_n = N_x \cos nx + N_y \cos ny. \quad (8)$$

Всем этим трем условиям удается удовлетворить лишь в простейших задачах. В общем же случае решение дифференциального уравнения позволяет удовлетворять только двум граничным условиям. Сведем последние два условия (6) к одному. Для этого крутящий момент  $H_{ns} ds$ , действующий на элемент боковой поверхности с длиной образующей  $ds$ , заменим двумя вертикальными, противоположно направленными силами величиной  $H_{ns}$  с плечом  $ds$ . Такая статически эквивалентная замена повлияет лишь на значения напряжений около края плиты в полосе, ширина которой, согласно принципу Сен-Венана, соизмерима с толщиной плиты и является малой величиной. В основной же части плиты заметного искажения значений напряжений и прогибов из-за указанной замены не произойдет. Рассматривая два последовательных элемента боковой поверхности, можно заметить, что распределение скручивающих моментов  $H_{ns}$  эквивалентно распределению поперечных сил интенсивности  $\frac{dH_{ns}}{ds}$ .

Суммируя эти усилия с перерезывающими силами  $N_n$ , получим так называемую обобщенную перерезывающую силу  $N_n + \frac{dH_{ns}}{ds}$ . Тогда граничные условия (6) можно записать в виде

$$M_n = m_l(s), \quad N_n + \frac{dH_{ns}}{ds} = p_l(s), \quad (9)$$

где  $p_l(s)$  – заданное значение обобщенной перерезывающей силы.

Дифференцируя  $H_{ns}$  по дуге контура и учитывая соотношения (2), получим

$$\frac{dH_{ns}}{ds} = -2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 \left[ (q_k - p_k) W_k'''(z_k) \frac{dz_k}{ds} \cos nx \cos ny + \right]$$

$$\begin{aligned}
& + (q_k - p_k) W_k''(z_k) \left( \frac{d \cos ny}{ds} \cos nx + \frac{d \cos nx}{ds} \cos ny \right) + \\
& + r_k W_k'''(z_k) \frac{dz_k}{ds} (\cos^2 nx - \cos^2 ny) + \\
& + 2r_k W_k''(z_k) \left( \frac{d \cos nx}{ds} \cos nx - \frac{d \cos ny}{ds} \cos ny \right). \quad (10)
\end{aligned}$$

**Анализ полученных результатов.** Получение соотношения для нахождения обобщенной перерезывающей силы дает возможность проверять удовлетворение не только граничному условию  $M_n = m_l(s)$ , но также условию  $N_n + \frac{dH_{ns}}{ds} = p_l(s)$ . Проверка данного условия особенно

важна в случае заданных поперечных усилий по контурам отверстий, сосредоточенных сил во внутренних точках плиты, равномерно распределенных по верхнему основанию нормальных усилий, а также когда во внутренние контуры плиты вложено включение из другого материала.

#### Список литературы

- Лехницкий С. Г. О некоторых вопросах, связанных с теорией изгиба тонких плит/ С. Г. Лехницкий // Прикладная математика и механика. Нов. сер. – 1938. – Т. 2, вып. 2. – С. 181–210.
- Калоев С. А. Комплексные потенциалы теории изгиба многосвязных анизотропных плит / С. А. Калоев // Теорет. и прикладная механика. – 2012. – Вып. 4 (50). – С. 113–132.
- Калоев С. А. Результаты новых исследований по изгибу многосвязной анизотропной плиты / С. А. Калоев, А. И. Занько // Вісн. Донецк. ун-ту. Сер. А. Природ. науки. – 2014. – Вып. 1. – С. 48–56.

УДК 539.3:534.1

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК НОРМАЛЬНЫХ УПРУГИХ ВОЛН ДЛЯ ДВУХ МОДЕЛЕЙ НЕОДНОРОДНЫХ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ

*Моисеенко И.А.*, д-р физ.-мат. наук, доц.,  
*Моисеенко В.А.*, канд. физ.-мат. наук, доц.,  
*Іванів А.О.*

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

**Введение.** При исследовании свойств нормальных упругих волн, распространяющихся вдоль радиально неоднородных изотропных, трансверсально-изотропных и цилиндрически ортотропных протяженных

цилиндров кольцевого поперечного сечения, задача сводится к построению общих решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. В качестве подходов, обеспечивающих решение указанной задачи, можно выделить два, допускающих построение общих решений в аналитическом виде: моделирование волновода многослойным протяженным цилиндром, составленным из нескольких, находящихся в условиях неразрывного контакта, различающихся по геометрии и материалу однородных концентрического кольцевого сечения цилиндров; задание специального вида экспоненциально-степенного функционального закона радиальной неоднородности физико-механических характеристик материала волновода. Известно, что базисные решения системы дифференциальных уравнений модели в первом варианте представляются отдельно для каждого однородного слоя в классической замкнутой форме через функции Бесселя в случае изотропных и трансверсально-изотропных материалов, либо в рядах по обобщенной кольцевой координате в случае цилиндрически ортотропных материалов, а во втором – в аналитической матричной форме в виде разложений радиальных составляющих решений в равномерно и абсолютно сходящиеся матричные степенные ряды по обобщенной кольцевой координате. При этом оставался открытый вопрос о корреляции характеристик волновых процессов, получаемых в рамках указанных моделей. В данном исследовании решается задача проведения сопоставительного численного эксперимента в случаях распространения осесимметричных нормальных упругих волн в кусочно-однородных составных протяженных цилиндрах кольцевого поперечного сечения из различных изотропных материалов, а также в функционально-неоднородных цилиндрах кольцевого поперечного сечения с экспоненциально степенным законом радиальной неоднородности физико-механических свойств изотропного материала.

**Постановка задачи.** Рассматриваются две модели протяженного полого радиально неоднородного цилиндрического волновода. Модель А – многослойный протяженный цилиндр, составленный из  $n$ , находящихся в условиях неразрывного контакта, различающихся по геометрии и материалу однородных изотропных концентрического кольцевого сечения цилиндров с радиусами соответственно  $R_{j-1}$  и  $R_j$  ( $R_{j-1} < R_j$ ) ( $j = \overline{1, n}$ ).

Модель Б – функционально неоднородный в радиальных направлениях изотропный цилиндр, имеющий в поперечном сечении форму концентрического кругового кольца с радиусами  $R_0$  и  $R_n$ . Вводятся нормирующий параметр  $R_*$ , на который накладываются ограничения  $R_0 \leq R_* \leq R_n$ ,  $R_n/2 < R_*$ , и безразмерные параметры  $r_j = R_j/R_*$  ( $j = \overline{0, n}$ ),  $h = \max\{1 - r_0, r_n - 1\}$  ( $0 < h < 1$ ). В нормированной параметром  $R_*$

безразмерной цилиндрической системе координат  $Or\theta z$  в случае модели А волновод занимает область

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

Поверхности  $\Gamma_j$  разделяют двух смежных областей  $V^{(j)}$  и  $V^{(j+1)}$  ( $j = \overline{1, n-1}$ ), а также внутренняя  $\Gamma_0$  и внешняя  $\Gamma_n$  граничные поверхности волновода определяются так:  $\Gamma_j = \left\{ r = r_j; \theta \in [-\pi, \pi]; z \in (-\infty, \infty) \right\}$  ( $j = \overline{0, n}$ ). Условия неразрывного контакта двух смежных областей  $V^{(j)}$  и  $V^{(j+1)}$  ( $j = \overline{1, n-1}$ ) составного волновода задаются в виде

$$\sigma_{rs}^{(j)} \Big|_{(r, \theta, z) \in \Gamma_j} = \sigma_{rs}^{(j+1)} \Big|_{(r, \theta, z) \in \Gamma_j}, \quad u_s^{(j)} \Big|_{(r, \theta, z) \in \Gamma_j} = u_s^{(j+1)} \Big|_{(r, \theta, z) \in \Gamma_j} \quad (j = \overline{1, n-1}),$$

где  $s = \theta$  в случае волн крутильного типа и  $s = r, z$  в случае продольно-сдвиговых волн. В случае модели Б волновод занимает область

$$V^{(B)} = \left\{ r \in [r_0, r_n]; \theta \in [-\pi, \pi]; z \in (-\infty, \infty) \right\}.$$

Полагается, что в случае модели А изотропные материалы в областях  $V^{(j)}$  ( $j = \overline{1, n}$ ) заданы постоянными для соответствующей области характеристикиами:  $v^{(j)}$  – коэффициентом Пуассона;  $G^{(j)}$  – нормированным параметром  $C_*$  модулем сдвига;  $\rho^{(j)}$  – нормированной параметром  $\rho_*$  плотностью материала. Для модели Б функционально-неоднородный в радиальных направлениях изотропный материал волновода задается такими физико-механическими характеристиками:

$$v = const, \quad \rho(r) = \tilde{\rho} e^{f_{\lambda, q}(r)}, \quad G(r) = \tilde{G} e^{f_{\lambda, q}(r)}, \quad f_{\lambda, q}(r) = \lambda ((r-1)/h)^q.$$

Здесь  $\rho(r)$  и  $G(r)$  – нормированные параметрами  $\rho_*$  и  $C_*$  соответственно плотность и модуль сдвига неоднородного материала;  $\tilde{\rho}$  и  $\tilde{G}$  нормированные параметрами  $\rho_*$  и  $C_*$  соответственно плотность и модуль сдвига однородного материала. Параметры  $\lambda$  ( $\lambda \in \mathbb{R}$ ) и  $q$  ( $q \in \{0\} \cup \mathbb{N}$ ) характеризуют соответственно относительный максимальный уровень и форму локализации в теле волновода радиальной неоднородности материала.

Полная пространственная линейная математическая модель осесимметричного динамического напряженно-деформированного состояния упругих тел в системе координат  $Or\theta z$ , применительно к областям  $V^{(j)}$  ( $j = \overline{1, n}$ ) в случае модели А, а также к области  $V^{(B)}$  в случае модели Б, включает систему дифференциальных уравнений движения,

соотношения линейного закона Гука и уравнения связи между компонентами тензора малых деформаций и отнесенными к нормирующему параметру  $R_*$  компонентами вектора упругих перемещений.

Рассматриваемые модели А и Б включают также однородные граничные условия одновременно свободных либо жестко закрепленных внутренней  $\Gamma^{(0)}$  и внешней  $\Gamma^{(n)}$  граничных поверхностей волновода.

**Базисные решения, дисперсионные соотношения и численный эксперимент.** Общие решения уравнений введенных в рассмотрение моделей для отличных от тождественного нуля нормированных компонент вектора перемещений и тензора напряжений при рассмотрении распространяющихся вдоль оси  $Oz$  с круговой частотой  $\omega$  и нормализованным параметром  $R_*$  волновом числе  $k$  нормальных упругих волн крутильного и продольно-сдвигового типов представлены через матричные базисные решения, которые в случае Модели А в областях волновода  $V^{(j)}$  ( $j = \overline{1, n}$ ) записаны через цилиндрические функции Бесселя, а в случае Модели Б – в виде абсолютно и равномерно сходящихся в области  $V^{(B)}$  матричных степенных рядов обобщенной кольцевой координаты. С использованием указанных матричных базисных решений на основе условий неразрывного контакта двух смежных областей составного волновода для Модели А и однородных граничных условий на внешних граничных поверхностях волновода для моделей А и Б представлены целевые дисперсионные соотношения. Для случая бегущих продольно-сдвиговых волн в свободном полом протяженном радиально-неоднородном цилиндре в рамках моделей А и Б проведен численный эксперимент.

**Выводы.** Представлен сопоставительный анализ результатов численного эксперимента, проведенного в рамках двух принципиально различных моделей полых радиально неоднородных изотропных цилиндрических волноводов. Выявлены характеристики рассмотренных волновых процессов, для которых наблюдается корреляция полученных в результате численного эксперимента значений.

## ПОЛЗУЧЕСТЬ АНИЗОТРОПНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С НЕСКОЛЬКИМИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ

*Нескородев Р.Н.*, канд. физ.-мат. наук, доц.

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

*kf.tuvm@donnu.ru*

**Введение.** В работах [1, 2] при помощи модели слоистого массива горных пород осадочного происхождения с плоскостями изотропии, параллельными слоям, расположенными под различными углами к дневной поверхности, предложена методика исследования вязкоупругого напряженно-деформированного состояния, возникающего вблизи горизонтальных выработок эллиптического сечения.

Точное решение двумерных задач с отверстием или полостью известно только для случая, когда граничный контур является эллиптическим или круговым. Если контур отличен от эллиптического, то задача решалась приближенно либо сведением к ряду задач для эллиптического контура, либо построением сложных приближенных конформных отображений.

В рамках разработки методики исследования ползучести массивов анизотропных горных пород с выработками усложненной формы сечения при помощи методов *R*-функций и алгебры логики в статье [3] построены характеристические уравнения для областей сечений выработок, которые могут быть ограничены прямолинейными отрезками и частями эллиптических контуров. Алгоритм нахождения характеристических уравнений позволяет автоматизировать построение границ областей сечений выработок сложной формы. Предложенная методика также может быть использована при исследовании вязкоупругого напряженного состояния горного массива с несколькими протяженными горизонтальными выработками.

**Основные уравнения теории вязкоупругости горных пород.** В рамках постановки задачи полагается, что рассматриваемый массив горных пород занимает нижнее полупространство, в декартовой системе координат  $Ox_1x_2x_3$ , начало системы размещено на глубине  $H$ , ось  $Ox_2$  направлена вертикально вверх, а плоскость  $Ox_1x_3$  параллельна плоскости, ограничивающей полупространство. В момент образования выработки (время  $t = 0$ ) упругие постоянные исследуемого материала характеризуются матрицей  $\mathbf{A}$  (модулей упругости), либо матрицей  $\mathbf{a}$  (коэффициентов деформации), а решение является упругим. Дальнейшая эксплуатация выработки (время  $t > 0$ ) приводит к тому, что материал продолжает деформироваться. Для описания этого процесса и определения

напряженно-деформированного состояния в окрестности выработки в работе [1] приведена замкнутая теория механического состояния среды, учитывающая свойство материала деформироваться во времени. На основе свойств резольвентных операторов для интегральных уравнений с ядрами произвольного вида, предложены соотношения для построения элементов матрицы уравнений состояния.

Напряженное состояние горного массива можно представить состоящим из: 1) начального поля смещений  $u_i^0$  и напряжений  $\sigma_k^0$  в нетронутом массиве и 2) дополнительного поля смещений  $u_i^*$  и напряжений  $\sigma_k^*$ , возникающего при появлении выработок.

Перемещения и напряжения нетронутого массива определяются из соотношений

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

где величины  $\alpha_i$ ,  $\tau_k$  зависят от упругих постоянных;  $\rho$  – плотность породного массива;  $g$  – ускорение силы тяжести.

Если контуры выработок содержат  $N$  элементов, то комплексные потенциалы  $\Phi_j(z_j)$ , будут представлены в виде суммы функций по всем элементам

$$\Phi_j(z_j) = \sum_{r=1}^N \Phi_{jr} = \sum_{r=1}^N \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\alpha_{rkj}}{\zeta_{jr}^k}. \quad (2)$$

Задача об упругом равновесии массива горных пород приводится к определению в областях  $S_j$  функций  $\Phi_j(z_j)$ , удовлетворяющих граничным условиям на контуре отверстия. Для каждого элемента  $L_r$  контура границы ставятся в соответствие комплексные потенциалы

$$\Phi_{jr} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\alpha_{rkj}}{\zeta_{jr}^k}.$$

Если контуры выработок содержат  $N$  элементов, то комплексные потенциалы  $\Phi_j(z_j)$ , будут представлены в виде суммы функций по всем элементам

$$\Phi_j(z_j) = \sum_{r=1}^N \Phi_{jr} = \sum_{r=1}^N \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\alpha_{rkj}}{\zeta_{jr}^k}. \quad (3)$$

Граничным условиям нужно удовлетворить на каждом из  $r = \overline{1, N}$  элементов. Для массива с неподкрепленными выработками, эти условия на  $r$ -м элементе имеют вид

$$2\operatorname{Re} \sum_{j=1}^3 a_{jr} \Phi'_{jr} = P_{1r}, \quad 2\operatorname{Re} \sum_{j=1}^3 b_{jr} \Phi'_{jr} = P_{2r}, \quad 2\operatorname{Re} \sum_{j=1}^3 c_{jr} \Phi'_{jr} = P_{3r}. \quad (4)$$

Здесь введены обозначения, приведенные в работе [3].

Решение задачи о напряженно – деформированном состоянии массива горных пород с выработками свелось к определению комплексных коэффициентов  $\alpha_{rkj} = \alpha_{rkj}^1 + i\alpha_{rkj}^2$ , входящих в функции (3) из граничных условий (4). Сведение нахождения коэффициентов этой задачи к решению систем алгебраических уравнений осуществляется методом наименьших квадратов. Для этого представления (3) подставляются в условия (4). В результате на граничной линии получаются отличные от нуля невязки с вещественными коэффициентами  $\alpha_{rkj}^1$  и  $\alpha_{rkj}^2$ .

Если выработки находятся на большой глубине, то при определении напряжений и перемещений вблизи их в формулах (1), (2) и (4) можно пренебречь величиной  $x_2 / H$ .

**Численные исследования.** Проведены численные исследования распределения напряжений, действующих вблизи контуров на площадках, нормальных к нему в зависимости от расстояния круговых выработок между собой, материала горных пород и времени действия нагрузок. Расчеты выполнены для изотропных и транстропных горных пород алевролит и песчаник, упругие и реологические постоянные которых даны в работе [1]. Полученные данные позволяют сделать выводы о новых результатах, которые могут быть предложены специалистам в горной тематике для их практического использования.

## Список литературы

1. Нескородев Р. Н. Метод преобразования интегральных уравнений состояния к временным уравнениям закона Гука / Р. Н. Нескородев // Вестн. Донец. нац. ун-та. Сер. А, Естеств. науки. – 2016. – Вып. 3. – С. 10–21.
2. Нескородев Р. Н. Ползучесть анизотропных горных пород с выработками в условиях обобщенной плоской деформации / Р. Н. Нескородев // Вестн. Донец. нац. ун-та. Сер. А: Естеств. науки. – 2016. – Вып. 4. – С. 50–57.
3. Сторожев В. И. Ползучесть массивов анизотропных горных пород с выработками усложненной формы сечения / В. И. Сторожев, Р. Н. Нескородев // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естеств. науки. – 2019. – Вып. 3-4. – С. 95–106.

**НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ДЛЯ ВОЛН СДВИГА  
В СОСТАВНОМ ВОЛНОВОДЕ ИЗ ИЗОТРОПНОГО И  
ОРТОТРОПНОГО ПОЛУСЛОЕВ**

*Павлыши В.Н.*<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
*Сторожев С.В.*<sup>2</sup>, канд. экон. наук, доц.,  
*Номбрэ С.Б.*<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук, доц.

<sup>1</sup>ГОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

г. Макеевка, ДНР

*s.storozhev@donnu.ru*

**Введение.** Эффективное практическое применение в ультраакустической диагностике, сейсмодинамике и акустоэлектронике представленной в работе [2] методики анализа актуальной модели описания энергетических эффектов прохождения нормальных упругих волны сдвига по составному плоскопараллельному волноводу, образуемому идеально контактирующими по боковым торцевым поверхностям полуслоев равной толщины из изотропного и трансверсально-изотропного материалов, требует дополнительного учета влияния факторов неопределенности физико-механических характеристик компонентов реального составного волновода. Оценки влияния неопределенностей в виде экспериментально прогнозируемых разбросов экспериментальных данных о свойства материала контактирующих полуслоев могут быть, в рамках описываемых в [1, 4] подходов, получены на основе применения аппарата теории нечетких множеств. В этой связи, целью данного исследования является разработка теоретической численно-аналитической методики нечетко-множественного оценивания параметров энергетических потоков отраженных и преломленных сдвиговых упругих волн при их взаимодействии с границей контакта компонентов волновода рассматриваемого типа в случае существования существенных разбросов в значениях модулей сдвиговой жесткости и плотности материалов полуслоев. Применяемый подход базируется фазификации неконтрастных физико-механических параметров рассматриваемой модели и последующем переходе к нечетким аргументам в полученных в [2] аналитических представлениях анализируемых энергетических потоков на основе модифицированной версии эвристического принципа расширения [1, 4].

**Получение нечетко-множественных представлений для эндогенных параметров модели.** Согласно результатам [2], для составного, занимающего в прямоугольных координатах  $Ox_1x_2x_3$  область

$$V = V_1 \cup V_2 = \{x_1 \leq 0, -\infty < x_2 < \infty, -h \leq x_3 \leq h\} \cup \{x_1 > 0, -\infty < x_2 < \infty, -h \leq x_3 \leq h\}$$

кусочно-однородного волновода со свободными от напряжений гранями  $x_3 = \pm h$ , в котором компонента  $V_1$  является изотропным полуслем из материала с параметром Ламе  $\mu$  и плотностью  $\rho_1$ , а компонентой  $V_2$  является полуслой из ортотропного материала с модулями упругости  $c_{44}, c_{66}$  и плотностью  $\rho_2$ , при условии идеального механического контакта составляющих, параметрические зависимости для парциальных величин средних за период суммарных по сечению потоков мощности в отраженных от поверхности сопряжения и преломленных волнах соответственно описываются представлениями

$$P_{1n} = F_{1n}(\mu, c_{44}, c_{66}, \rho_1, \rho_2, u, h, \omega) = -\mu k_n^{(1)} ((\beta_n - \alpha_n)/(\beta_n + \alpha_n))^2 u^2, \quad (1)$$

$$P_{2n} = F_{2n}(\mu, c_{44}, c_{66}, \rho_1, \rho_2, u, h, \omega) = 4c_{66}k_n^{(2)} (\beta_n/(\beta_n + \alpha_n))^2 u^2.$$

В представлениях (1)  $k_n^{(1)} = ((\rho_1/\mu)\omega^2 - (n\pi/h)^2)^{1/2}$  – волновое число нормальной SH волны с круговой частотой  $\omega$  из моды  $n$  дисперсионного спектра для компоненты  $V_1$ ;  $k_n^{(2)} = ((\rho_2\omega^2 - c_{44}(n\pi/h)^2)/c_{66})^{1/2}$  – волновое число нормальной SH волны из моды  $n$  дисперсионного спектра для компоненты  $V_2$ ;  $\alpha_n = c_{66}k_n^{(2)}$ ,  $\beta_n = \mu k_n^{(1)}$ . Приведенные представления удовлетворяют условию энергетического баланса  $P_{2n} - P_{1n} = P_0$ , в котором  $P_0 = \mu k_n^{(1)} u^2$  – поток мощности в падающей волне с амплитудой  $u$ , движущейся из глубины  $V_1$  вдоль положительного координатного направления  $Ox_1$  к поверхности  $\Gamma = \{x_1 = 0, -\infty < x_2 < \infty, -h \leq x_3 \leq h\}$  контакта полуслоев.

Первая фаза теоретического алгоритма учета предполагаемых разбросов в значениях параметров  $\mu, c_{44}, c_{66}, \rho_1, \rho_2$  предусматривает введение для этих параметров нечетко-интервальных [3] представлений  $\tilde{\mu}, \tilde{c}_{44}, \tilde{c}_{66}, \tilde{\rho}_1, \tilde{\rho}_2$ , описываемых кортежами реперных значений  $\tilde{\mu} = (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4), \tilde{c}_{44} = (c_{441}, c_{442}, c_{443}, c_{444}), \tilde{c}_{66} = (c_{661}, c_{662}, c_{663}, c_{664}), \tilde{\rho}_1 = (\rho_{11}, \rho_{12}, \rho_{13}, \rho_{14}), \tilde{\rho}_2 = (\rho_{21}, \rho_{22}, \rho_{23}, \rho_{24})$ , и суперпозициями множеств альфа-уровня

$$\tilde{\mu} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\mu}_\alpha, \bar{\mu}_\alpha], \underline{\mu}_\alpha = (1-\alpha)\mu_1 + \alpha\mu_2, \bar{\mu}_\alpha = \alpha\mu_3 + (1-\alpha)\mu_4; \quad (2)$$

$$\tilde{c}_{44} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{c}_{44\alpha}, \bar{c}_{44\alpha}], \underline{c}_{44\alpha} = (1-\alpha)c_{441} + \alpha c_{442}, \bar{c}_{44\alpha} = \alpha c_{443} + (1-\alpha)c_{444};$$

$$\tilde{c}_{66} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{c}_{66\alpha}, \bar{c}_{66\alpha}], \underline{c}_{66\alpha} = (1-\alpha)c_{661} + \alpha c_{662}, \bar{c}_{66\alpha} = \alpha c_{663} + (1-\alpha)c_{664};$$

$$\tilde{\rho}_1 = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\rho}_{1\alpha}, \bar{\rho}_{1\alpha}], \underline{\rho}_{1\alpha} = (1-\alpha)\rho_{11} + \alpha\rho_{12}, \bar{\rho}_{1\alpha} = \alpha\rho_{13} + (1-\alpha)\rho_{14};$$

$$\tilde{\rho}_2 = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\rho}_{2\alpha}, \bar{\rho}_{2\alpha}], \underline{\rho}_{2\alpha} = (1-\alpha)\rho_{21} + \alpha\rho_{22}, \bar{\rho}_{2\alpha} = \alpha\rho_{23} + (1-\alpha)\rho_{24}.$$

Далее, с использованием представлений (1) и разложений (2), на основе модифицированной альфа-уровневой версии эвристического принципа расширения [1, 4] и с учетом свойств получаемых для всей области определения  $F_{2n}(\mu, c_{44}, c_{66}, \rho_1, \rho_2, u, h, \omega)$  оценок

$\partial F_{2n}(\mu, c_{44}, c_{66}, \rho_1, \rho_2, u, h, \omega)/\partial \rho_1 \geq 0$ ,  $\partial F_{2n}(\mu, c_{44}, c_{66}, \rho_1, \rho_2, u, h, \omega)/\partial \rho_2 \leq 0$ , осуществляется переход к нечетко-интервальным аргументам в представлениях (1). В итоге, соотношения, описывающие искомые нечетко-множественные параметрические частотные оценки  $\tilde{P}_{1n}(\omega)$ ,  $\tilde{P}_{2n}(\omega)$  для средних за период суммарных по сечению потоков мощности в отраженных и преломленных волнах, учитывающие наличие разбросов в экспериментальных значениях физико-механических постоянных  $\mu$ ,  $c_{44}$ ,  $c_{66}$ ,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  в предположении о задании не имеющих разбросов точных значений  $h = h_*$ ,  $u = u_*$  принимают вид

$$\tilde{P}_{1n}(\omega) = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{F}_{1n\alpha}(\omega), \bar{F}_{1n\alpha}(\omega)], \quad \tilde{P}_{2n}(\omega) = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{F}_{2n\alpha}(\omega), \bar{F}_{2n\alpha}(\omega)],$$

где

$$\underline{F}_{1n\alpha}(\omega) = \inf_{\substack{\mu \in [\underline{\mu}_\alpha, \bar{\mu}_\alpha] \\ c_{44} \in [\underline{c}_{44\alpha}, \bar{c}_{44\alpha}] \\ c_{66} \in [\underline{c}_{66\alpha}, \bar{c}_{66\alpha}] \\ \rho_1 \in [\underline{\rho}_{1\alpha}, \bar{\rho}_{1\alpha}] \\ \rho_2 \in [\underline{\rho}_{2\alpha}, \bar{\rho}_{2\alpha}]}} F_{1n\alpha}(\mu, c_{44}, c_{66}, \rho_1, \rho_2, u_*, h_*, \omega),$$

$$\bar{F}_{1n\alpha}(\omega) = \sup_{\substack{\mu \in [\underline{\mu}_\alpha, \bar{\mu}_\alpha] \\ c_{44} \in [\underline{c}_{44\alpha}, \bar{c}_{44\alpha}] \\ c_{66} \in [\underline{c}_{66\alpha}, \bar{c}_{66\alpha}] \\ \rho_1 \in [\underline{\rho}_{1\alpha}, \bar{\rho}_{1\alpha}] \\ \rho_2 \in [\underline{\rho}_{2\alpha}, \bar{\rho}_{2\alpha}]}} F_{1n\alpha}(\mu, c_{44}, c_{66}, \rho_1, \rho_2, u_*, h_*, \omega),$$

$$\underline{F}_{2n\alpha}(\omega) = \inf_{\substack{\mu \in [\underline{\mu}_\alpha, \bar{\mu}_\alpha] \\ c_{44} \in [\underline{c}_{44\alpha}, \bar{c}_{44\alpha}] \\ c_{66} \in [\underline{c}_{66\alpha}, \bar{c}_{66\alpha}]}} F_{2n\alpha}(\mu, c_{44}, c_{66}, \underline{\rho}_{1\alpha}, \bar{\rho}_{2\alpha}, u_*, h_*, \omega),$$

$$\bar{F}_{2n\alpha}(\omega) = \sup_{\substack{\mu \in [\underline{\mu}_\alpha, \bar{\mu}_\alpha] \\ c_{44} \in [\underline{c}_{44\alpha}, \bar{c}_{44\alpha}] \\ c_{66} \in [\underline{c}_{66\alpha}, \bar{c}_{66\alpha}]}} F_{2n\alpha}(\mu, c_{44}, c_{66}, \bar{\rho}_{1\alpha}, \underline{\rho}_{2\alpha}, u_*, h_*, \omega).$$

**Заключение.** Результатом представленных исследований является разработка нечетко-множественной методики для оценивания меры влияния факторов неопределенности физико-механических постоянных составного волновода нормальных сдвиговых упругих волн из контактирующих изотропного и ортотропного полуслоев на показатели

средних за период суммарных по сечению потоков мощности в отраженных от плоскости раздела компонентов и в преломленных волнах.

### **Список литературы**

1. Нгуен Куок Ши. Исследование моделей высокотемпературной термостабилизации с нечеткими параметрами / Нгуен Куок Ши, Чан Ба Ле Хоанг, С.В. Сторожев. – Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2019. – 216 с.
2. Пачева М.Н. Энергетические характеристики нормальных волн сдвига в составном волноводе из изотропного и ортотропного полуслоев / М.Н. Пачева // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы V Международной научной конференции (Донецк, 17-18 ноября 2020 г.). – Том 1: Физико-математические и технические науки. Часть 1. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2020. – С. 90 – 93.
3. Grzegorzewski P. Trapezoidal approximations of fuzzy numbers / P. Grzegorzewski, E. Mr'owka // Fuzzy Sets Syst. – 2005. – Vol.153. – P. 115 – 135.
4. Hanss M. Applied Fuzzy Arithmetic. An introduction with Engineering Application / M. Hanss.– Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. – 253 p.

УДК 51-74:510.22:519.6: 539.3

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ НЕИДЕМПОТЕНТНОЙ АРИФМЕТИКИ И АРИФМЕТИКИ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ НЕЧЕТКИХ ТРЕУГОЛЬНЫХ ЧИСЕЛ ДЛЯ УЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКИХ СФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК**

*Павлыши В.Н.<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
Сторожев С.В.<sup>2</sup>, канд. экон. наук, доц.*

<sup>1</sup>ГОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

г. Макеевка, ДНР

*s.storozhev@donnu.ru*

**Введение и цели исследования.** Специфическими особенностями применения математического аппарата теории нечетких множеств при исследовании меры влияния факторов неопределенности в расчетных инженерных математических моделях, в частности в моделях деформационных и термических процессов [3, 7], является известное свойство неидемпотентности арифметических операций, введенных в соответствии с концепцией эвристического принципа обобщения Л. Заде [1, 6], а также проблема трактовки одной и той же нечеткой величины при каждом повторном ее вхождении в расчетные соотношения, как новой независимой характеристики. Оценки, получаемые с использованием арифметики данного типа, классифицируются как пессимистические,

поскольку ее применение приводит к нарастанию меры неопределенности в результатах вычислений, и тем самым порождает формирование оценок с предельно широкими прогнозируемыми разбросами для значений вычисляемых эндогенных параметров моделей, интерпретируемыми как рекомендации по выбору возможно излишне высоких запасов прочности, надежности, безотказности. В качестве приемов минимизации влияния указанных эффектов в ряде работ предложены модификации стандартной арифметики нечетких чисел, одной из которых, применительно к операндам в виде нечетких треугольных чисел, является алгебра двухкомпонентных чисел [5]. В этой связи, целями настоящей работы является получение и сопоставление результатов альтернативных нечетко-множественных подходов к анализу факторов неопределенности в модели устойчивости тонкой упругой сферической оболочки [2], связанных с применениями в расчетах стандартной арифметики треугольных нечетких чисел, и арифметики, базирующейся на алгебре двухкомпонентных чисел.

**Получение нечетко-множественных расчетных соотношений в модели устойчивости сферической оболочки.** Анализ нечетко-множественной версии модели определения критической величины параметра интенсивности распределенного внешнего нормального давления  $P_{*1}$ , действующего на изотропную сферическую оболочку, для которой радиус  $R$ , толщина стенки  $h$ , модуль Юнга  $E$  и коэффициент Пуассона  $\nu$  материала характеризуются разбросами исходных значений и интерпретируются как нормальные трапецидальные нечеткие интервалы с заданием кортежей границ интервалов носителей и границ модальных интервалов  $\tilde{R} = (R_1, R_2, R_3, R_4)$ ,  $\tilde{h} = (h_1, h_2, h_3, h_4)$ ,  $\tilde{E} = (E_1, E_2, E_3, E_4)$ ,  $\tilde{\nu} = (\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4)$ , реализован в работе [4] на основе использования представления  $P_{*1} = F_1(E, \nu, h, R) = 2Eh^2/(R^2(3(1-\nu^2))^{1/2})$  и применения стандартной арифметики нечетких чисел. Для нечетко-множественного значения параметра  $\tilde{P}_{*1}$  получено представление вида

$$\tilde{P}_{*1} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{P}_{*1\alpha}, \bar{P}_{*1\alpha}], \quad \underline{P}_{*1\alpha} = 2\underline{E}_\alpha \underline{h}_\alpha^2 / (\bar{R}_\alpha^2 (3(1-\underline{\nu}_\alpha^2))^{1/2}), \quad \bar{P}_{*1\alpha} = 2\bar{E}_\alpha \bar{h}_\alpha^2 / (\underline{R}_\alpha^2 (3(1-\bar{\nu}_\alpha^2))^{1/2}), \quad (1)$$

где в частном случае трансформации  $\tilde{R}$ ,  $\tilde{h}$ ,  $\tilde{E}$ ,  $\tilde{\nu}$  в треугольные нечеткие числа  $\tilde{R} = (R_1, R_2, R_3)$ ,  $\tilde{h} = (h_1, h_2, h_3)$ ,  $\tilde{E} = (E_1, E_2, E_3)$ ,  $\tilde{\nu} = (\nu_1, \nu_2, \nu_3)$  можно записать

$$\begin{aligned} \underline{R}_\alpha &= (1-\alpha)R_1 + \alpha R_2, \quad \bar{R}_\alpha = \alpha R_2 + (1-\alpha)R_3; \\ \underline{h}_\alpha &= (1-\alpha)h_1 + \alpha h_2, \\ \bar{h}_\alpha &= \alpha h_2 + (1-\alpha)h_3; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \underline{E}_\alpha &= (1-\alpha)E_1 + \alpha E_2, \quad \bar{E}_\alpha = \alpha E_2 + (1-\alpha)E_3; \\ \underline{\nu}_\alpha &= (1-\alpha)\nu_1 + \alpha \nu_2, \\ \bar{\nu}_\alpha &= \alpha \nu_2 + (1-\alpha)\nu_3. \end{aligned}$$

В случае применения для вычисления  $\tilde{P}_{*1}$  арифметики, базирующейся на алгебре двухкомпонентных чисел [5], в рамках которой представленные

кортежами реперных значений треугольные нечеткие числа  $\tilde{\Phi}_J = (\Phi_{J1}, \Phi_{J2}, \Phi_{J3})$  интерпретируются как двухкомпонентные векторы параметрических зависимостей  $\tilde{\Phi}_J = \{(\Phi_{J1} + (\Phi_{J2} - \Phi_{J1})\alpha), (\Phi_{J3} + (\Phi_{J2} - \Phi_{J3})\alpha)\}$   $\alpha \in [0, 1]$ , а идемпотентные арифметические операции выполняются по правилу

$$\tilde{\Phi}_J * \tilde{\Phi}_J = (\Phi_{J1} * \Phi_{J1}, \Phi_{J2} * \Phi_{J2}, \Phi_{J3} * \Phi_{J3}), \quad (3)$$

где символ  $*$  соответствует любой из обычных операций арифметики действительных чисел, для  $\tilde{P}_{*1}$ , исходя их введенных выше описаний  $\tilde{R}$ ,  $\tilde{h}$ ,  $\tilde{E}$ ,  $\tilde{v}$ , можно записать представления вида

$$\tilde{P}_{*1} = (2E_1 h_1^2 / (R_1^2 (3(1-v_1^2))^{1/2}), 2E_2 h_2^2 / (R_2^2 (3(1-v_2^2))^{1/2}), 2E_3 h_3^2 / (R_3^2 (3(1-v_3^2))^{1/2})); \quad (4)$$

$$\tilde{P}_{*1} = \{ 2E_1 h_1^2 / (R_1^2 (3(1-v_1^2))^{1/2}) + (2E_2 h_2^2 / (R_2^2 (3(1-v_2^2))^{1/2}) - 2E_1 h_1^2 / (R_1^2 (3(1-v_1^2))^{1/2}))\alpha, \\ 2E_3 h_3^2 / (R_3^2 (3(1-v_3^2))^{1/2}) + (2E_2 h_2^2 / (R_2^2 (3(1-v_2^2))^{1/2}) - 2E_3 h_3^2 / (R_3^2 (3(1-v_3^2))^{1/2}))\alpha \} \alpha \in [0, 1].$$

**Результаты вычислительных экспериментов.** На основе описанных альтернативных подходов осуществлены расчеты нечетко-множественной эндогенной характеристики  $\tilde{P}_{*1}$  для сферической оболочки из стали при следующем варианте задания неконтрастных экзогенных параметров:

$$\tilde{R} = (2.95 R_*, 3.0 R_*, 3.06 R_*), \tilde{h} = (0.0038 R_*, 0.004 R_*, 0.0044 R_*), \tilde{E} = (19.7 E_*, 20.0 E_*, 20.2 E_*), \\ \tilde{v} = (0.276, 0.279, 0.282), E_* = 10^{10} [\text{Па}], R_* = 1 [\text{м}]. \quad (5)$$

Их результаты, получаемые для двух представленных вариантов анализа рассматриваемой модели с использованием соотношений (1) и (4), соответственно приведены на рисунках 1 и 2 в форме графиков функций принадлежности для нечетко-множественных характеристик  $\tilde{P}_{*1}$ . Анализ расчетных данных позволяет заключить, что оба рассматриваемых подхода дают одно и то же модальное значение для нечетко-множественной оценки  $\tilde{P}_{*1}$ , равное 427 537 Па. Вместе с тем, на основании результатов применения методики, базирующейся на использовании стандартной арифметики нечетких треугольных чисел, носителем нечеткого множества  $\tilde{P}_{*1}$  является интервал [364 977, 540 849] Па, в то время как в рамках применения методики, базирующейся на алгебре двухкомпонентных чисел, носитель  $\tilde{P}_{*1}$  представляет собой интервал [39 2703, 502 663] Па. В первом случае, прогнозируемый предельно возможный разброс оцениваемой интенсивности критического давления на интервале носителя  $\tilde{P}_{*1}$  по отношению к модальному значению составляет -14.6 % и +26.5 %; во втором случае подобный разброс равен -8.1 % и +17.6 %, что соответствует в целом уменьшению размера размаха интервала носителя в 1.6 раза.

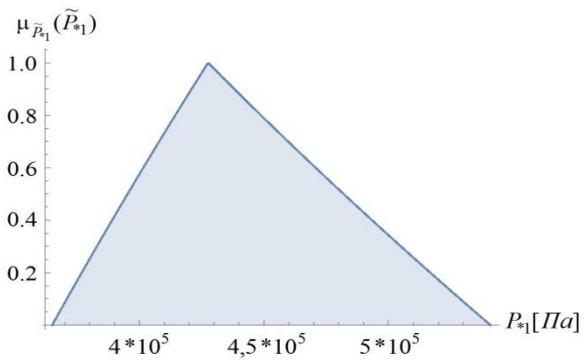


Рис. 1

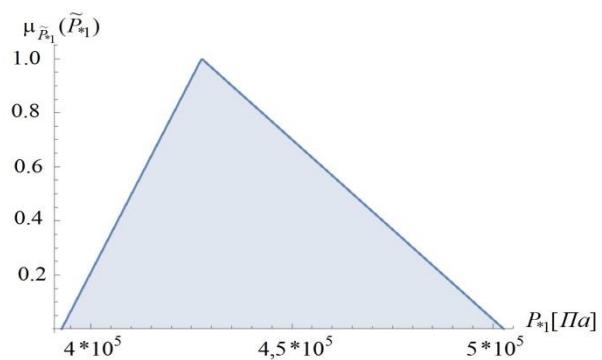


Рис. 2

**Заключение.** В результате проведенных исследований дано описание альтернативных нечетко-множественных методик анализа модели устойчивости тонкой упругой сферической оболочки, базирующихся на применении в расчетах стандартной арифметики треугольных нечетких чисел и арифметики, основанной на алгебре двухкомпонентных чисел. Приведен пример численной реализации представляемых методик и выполнено сопоставление получаемых при их применении оценок разбросов эндогенного параметра интенсивности критического давления при учете погрешностей в значениях исходных физико-механических и геометрических параметров конструкции.

### Список литературы

1. Дилягенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология – М.: Издательство Машиностроение - 1, 2004. – 397 с.
2. Ильгамов М.А. Устойчивость сферической формы оболочек и полостей // Труды Института механики УНЦ РАН. – 2007. – С. 38–59.
3. Нгуен Куок Ши. Исследование моделей высокотемпературной термостабилизации с нечеткими параметрами / Нгуен Куок Ши, Чан Ба Ле Хоанг, С.В. Сторожев. – Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2019. – 216 с.
4. Павлыш В.Н. Исследование нечетких моделей устойчивости и резонансных колебаний замкнутых сферических и эллипсоидальных оболочек / В.Н. Павлыш, С.В. Сторожев, С.Б. Номбрэ // Теорет. и прикладная механика. – 2020. – № 3 (72). – С. 32–42.
5. Шевляков А.О. Алгебраические операции с нечеткими треугольными числами с использованием алгебры двухкомпонентных чисел / Шевляков А.О. // Вестник ВГУ, Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2017. – № 1. – С. 149 – 153.
6. Bede B. Mathematics of Fuzzy Sets and Fuzzy Logic / B. Bede. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. – 276 p.
7. Hanss M. Applied Fuzzy Arithmetic. An introduction with Engineering Application / M. Hanss. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. – 253 p.

## ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДИСКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС

*Снимко С.А.*, д-р техн. наук, доц.,  
*Яковченко А.В.*, д-р техн. наук, проф.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР  
*donntu.info@mail.ru*

**Введение.** Важным аспектом повышения точности прогноза напряженно-деформированного состояния дисков железнодорожных колес при действии эксплуатационных нагрузок является учет остаточных технологических напряжений, которые появляются в штампованных катаных колесах на различных стадиях их производства и вызывают соответствующие изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) дисков [1–5].

При расчете поля остаточных технологических напряжений в готовом, чистовом колесе требуется учет большого количества факторов, определяющих необходимость многостадийного моделирования протекающих в металле физических процессов [3, 4]. Указанные обстоятельства в ряде случаев делают невозможной совместимость получаемых на разных этапах результатов моделирования. В связи с этим при анализе НДС колес от действия эксплуатационных нагрузок остаточные технологические напряжения учитывают далеко не всегда [2–5].

Поэтому актуально разработать метод метода учета остаточных технологических напряжений в дисках железнодорожных колес, который обеспечит необходимую точность расчетов и будет лишен указанных выше недостатков.

**Основная часть.** Перед эксплуатацией колеса запрессовывают на ось с натягом. Эта операция вызывает появление в колесе дополнительных напряжений разного знака и величины, показанных на рис. 1. Моделирование НДС колес с учетом натяга между ступицей и осью затруднений не вызывает.

Анализ имеющихся экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что дополнительные напряжения от натяга могут быть подобны остаточным технологическим напряжениям в дисках колес [5]. То есть можно предположить, что назначив при моделировании величину натяга больше требуемой, можно получить образование в колесе дополнительных напряжений, которые достаточно адекватно будут отражать влияние остаточных технологических напряжений на НДС диска колеса.

Для проверки высказанного предположения выбрана конструкция колеса Ø957 мм с плоскоконическим диском (ГОСТ 10791 – 2011), которое наиболее широкое используется на железных дорогах стран СНГ.

Анализ НДС колеса выполняли путем конечно-элементного моделирования в системе DEFORM 3D. Методика моделирования и результаты проверки адекватности модели представлены в работе [5].

Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных значений радиальных напряжений (табл. 1) выполняли для наиболее нагруженных при эксплуатации (опасных) зон диска – зон его сопряжения с ободом и ступицей. Для получения более объективной информации значения напряжений фиксировали с наружной и внутренней сторон колеса в четырех точках, по две точки на каждую опасную зону диска (рис. 1).

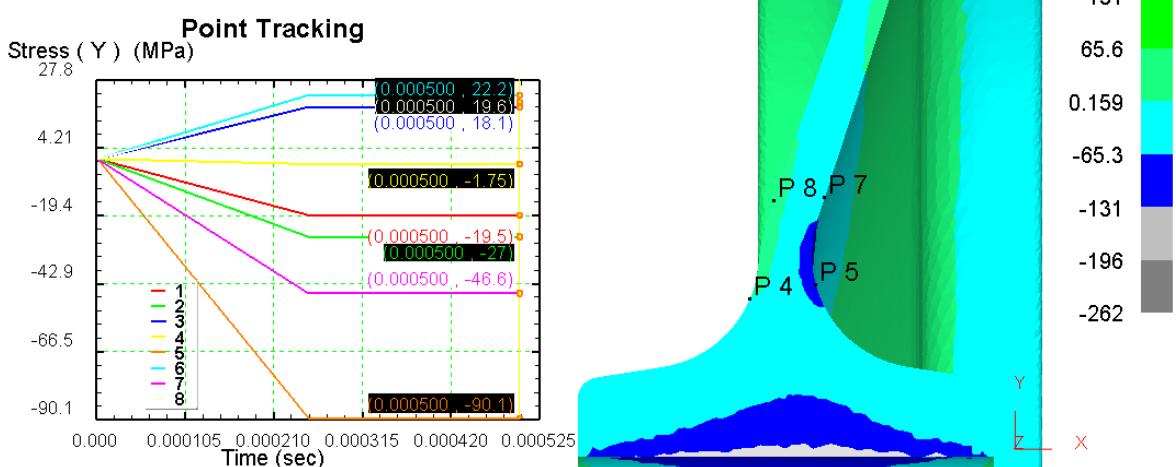


Рис. 1. Результаты расчета радиальных напряжений, полученные путем конечно-элементного моделирования натяга между ступицей и осью 0,25 мм на диаметр (с учетом переточки обода до толщины 22 мм)

Таблица 1

Результаты сравнения расчетных значений радиальных напряжений в диске, полученных от вертикальной нагрузки на гребень (800 кН) и натяга, с экспериментальными данными АО «ВНИИЖТ»

Номер точки	Экспериментальное напряжение ( $\sigma_e$ ), МПа	Расчетное напряжение ( $\sigma_m$ ), Мпа		Относительное отклонение, $\Delta = \frac{\sigma_e - \sigma_m}{\sigma_e} * 100\%$	
		при натяге 0,25 мм	при натяге 0,4 мм	при натяге 0,25 мм	при натяге 0,4 мм
1	-472	-471	-483	0,2	-2,3
2	-802	-804	-820	-0,2	-2,2
3	345	285	296	17,4	14,2
4	-11	-11,2	-12,2	-1,8	-10,9
5	-318	-280	-334	11,9	-5,0
6	375	373	386	0,5	-2,9
7	-250	-228	-256	8,8	-2,4
8	30,4	22,6	34,3	25,7	-12,8

Как показал анализ полученных результатов моделирования, при натяге 0,25 мм расчетные значения напряжений на качественном уровне (знак напряжения) в целом соответствуют экспериментальным данным. Однако, как видно из табл. 1, полученные максимальные отклонения довольно существенны. Кроме того, имеет место заниженная оценка напряжений в опасных зонах диска.

Выполненная серия аналогичных расчетов с различными величинами натяга позволила установить следующее. Для данного типа колеса и условий нагружения задание натяга 0,4 мм на диаметр (на 60 % больше требуемого) обеспечивает хорошее соответствие расчетных и экспериментальных значений напряжений не только на качественном, но и количественном уровнях (таблица). Причем в этом случае имеет место верхняя оценка напряжений в опасных зонах диска, что, безусловно, является положительным моментом при расчете запаса прочности колеса.

**Заключение.** Таким образом, назначение при моделировании большего натяга между ступицей и осью позволяет получить в колесе дополнительные напряжения, которые с достаточной степенью точности отражают влияние остаточных технологических напряжений на НДС диска железнодорожного колеса. Реализация предлагаемого подхода не требует проведения широкомасштабных теоретических и экспериментальных исследований. Подход может быть использован для различных типоразмеров колес.

## Список литературы

1. Якушев А. В. Результаты определения остаточных технологических напряжений в дисковой части цельнокатанных колес грузовых и пассажирских вагонов методом тензометрии / А. В. Якушев, Д. П. Кононов, С. О. Комиченко // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 3(58). – С. 66–68.
2. Волохов Г. М. Развитие методов оценки прочности конструкций цельнокатанных железнодорожных колёс и критериев их допуска к эксплуатации / Г. М. Волохов, Д. Е. Керенцев // Вестник ВЭлНИИ. – 2013. – Т. 2(66). – С. 138–154.
3. Керенцев Д. Е. Влияние остаточных технологических напряжений и тепловых эксплуатационных нагрузок на прочность железнодорожных колёс / Д. Е. Керенцев, Ю. К. Пономарёв // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2015. – Т. 14, № 3, Ч. 2. – С. 336–344.
4. Керенцев Д. Е. Расчёто-экспериментальная оценка остаточных технологических напряжений в цельнокатанных колёсах / Д. Е. Керенцев // Компьютерное моделирование в железнодорожном транспорте: динамика, прочность, износ: Тез. III науч.-техн. семинара, Брянск, 6–7 апреля 2016 г.– Брянск : БГТУ, 2016. – С. 32–34.
5. Снитко С. А. Метод учета остаточных технологических напряжений при моделировании напряженно-деформированного состояния диска железнодорожного колеса. Сообщение 1 / С. А. Снитко, А. В. Яковченко, С. М. Горбатюк // Изв. высших учебных заведений. Черная Металлургия. – 2021. – Т. 64, № 5. – С. 337–344.

# **Информационно-документационное обеспечение управления**

УДК 334.7:005.591.6

## **ИННОВАЦИИ В УПРАВЛЕНИИ ИННОВАЦИОННО-АКТИВНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

**Балдинюк А.И.**

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

**Введение.** На сегодняшний день показатели деятельности многих предприятий, в том числе и инновационно-активных (ИАП) являются подтверждением низкого уровня развития производственных, технологических и других процессов, что является существенной причиной отсутствия возможности достижения высоких показателей на рынке, негативного воздействия на экологическое состояние, социальное обеспечение населения и повышения общих инновационных и научно-технических показателей. В связи с этим, появляется необходимость совершенствовать способы управления предприятием путем модернизации старых и внедрения инновационных продуктов, услуг, алгоритмов управления, что и обуславливает актуальность темы и цель исследования.

**Целью исследования** является изучение инноваций в управлении ИАП и разработка практических рекомендаций по совершенствованию системы управления.

**Основная часть.** Инновационная деятельность ИАП основывается не только на разработке инновационных продуктов и предоставлении инновационных услуг, она распространяется на все его структурные подразделения и на общее управление. Наиболее часто инновационным изменениям подвергаются следующие процессы [1; 2]:

1) взаимодействие ИАП с внешней средой;

В деятельности ИАП одним из основных элементов является обоснования экономической эффективности и обеспечение финансирования инновационных процессов путем привлечения инвесторов и государства. В связи с этим, перед руководством ИАП стоит задача постоянного контроля и анализа показателей внешней среды:

- достижений научно-технического прогресса;
- экологическое, политическое, экономическое состояние;
- законодательной базы; места и роли ИАП на рынке.

Это влечет за собой необходимость создания баз и банков данных, использования новейшего программного и технологического обеспечения, использование облачных технологий.

## 2) управление элементами внутренней среды;

На управление элементами внутренней среды оказывают влияние технологическая и техническая составляющие, использование современных информационных технологий, умение и желание сотрудников ИАП использовать инновационные разработки, умение руководителя мотивировать и стимулировать коллектив. Это влечет за собой необходимость:

- разработки критериев достижения цели, использование которых необходимо:

- для изучения, анализа и оценки деятельности ИАП;

- дальнейшего развития научно-теоретических и методических основ улучшения деятельности ИАП;

- определения и обоснования действенных направлений, форм, методов, средств, технологий, реализация которых способствовала бы повышению эффективности и достижению более высоких результатов в управлении ИАП.

Если критерии достижения цели соответствуют задачам и показатели деятельности ИАП улучшены, то можно говорить о достижении цели. В противном случае, появляется необходимость вернуться к разработке механизмов управления ИАП и их усовершенствованию;

- для оперативного взаимодействия между сотрудниками ИАП необходимо построить модель и создать единое информационное пространство, основой которого является: базы данных, системы управления базами данных, программное обеспечение, облачные технологии, формирующие целостную систему информационных ресурсов и систем с возможностью удаленной многопользовательской работы с данными;

- создания системы управления персоналом, которая направлена на подбор, отбор, повышение квалификации, мотивацию и стимулирование персонала с учетом потребностей ИАП в разработке и управлении инновациями; научно-технического, экономического, инновационного развития региона;

- создание центров финансовой ответственности, которые позволяют оперативно выявлять нарушения финансовой дисциплины, осуществлять эффективное распределение денежных потоков, что позволит быстро внедрять и коммерциализировать инновации.

Исходя из вышеизложенного, выделим принципы, лежащие в основе управления ИАП [3; 4; 5]:

- оперативность – своевременное и быстрое реагирование на изменения, происходящие во внешней и внутренней среде;

- определенность – все элементы управления должны быть точно определены (объект, цель, методы, инструменты и механизмы управления);
- системность – последовательное выполнение всех предусмотренных действий по управлению ИАП;
- инновационность – использование новейших достижений науки и техники в процессе управления;
- динамичность – деятельность ИАП, ориентирована на возможность приспособления к быстроменяющимся экономическим условиям;
- самоорганизация – возможность выходить на новый уровень развития, вырабатывать варианты поведения и управления, при необходимости внося изменения в организационную структуру, сохраняя целостность и основное предназначение;
- регулярность – процесс управления ИАП и обновление подходов к нему необходимо осуществлять постоянно.

При формировании системы управления ИАП необходимо сформировать стратегию развития инновационной деятельности, которая направлена на повышение технического уровня производства за счет использования инноваций, применения новейших достижений науки и техники, направленных на улучшение качества выпускаемой инновационной продукции и предоставляемых услуг.

Формируя стратегию развития инновационной деятельности ИАП необходимо учитывать влияния различных факторов, способствующих инновационному развитию ИАП, а именно: создание эффективной системы отбора и оценки инновационных проектов; ориентацию научно-технических и инновационных мероприятий на потребности общества и рыночные потребности; эффективное управление проектами и контроль их выполнения; уровень научно-технического и инновационного потенциала.

**Заключение.** С целью построения наиболее эффективной системы управления ИАП необходимо разработать структуру управления, которая основывается на инновационных достижениях науки и техники, стимулирует и мотивирует руководителей и сотрудников к достижению цели ИАП, направлена на максимально оперативное, качественное выполнение и поддержание всех процессов, протекающих в ИАП.

### Список литературы

1. Андриенко В. Н. Концептуальные основы управления инновационно-активным предприятием / В. Н. Андриенко, А. И. Балдынюк. – Текст : непосредственный // Научный журнал «Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия Экономика» / под ред. Н. Т. Берберова. – Астрахань: Астраханский государственный технический университет, № 1. – 2017. – С. 16–22.
2. Андриенко В. Н. Стратегическое управление персоналом: 2-е издание / В. Н. Андриенко. – Донецк : Юго-Восток, 2005. – 201 с. – Текст : непосредственный.
3. Душенькина Е. А Экономика предприятия / Е. А. Душенькина. – М. : Эксмо, 2009. – 160 с. – Текст : непосредственный.

4. Сафонов Н. А. Экономика предприятия / Н. А. Сафонова. – М. : Юристъ, 2008. – 608 с. – Текст : непосредственный.
5. Яркина Т. В. Основы экономики предприятия / Т. В. Яркина. – М. : Российский гуманитарный интернет-университет (РГИУ), 2005. – 85 с. – Текст : непосредственный.

УДК 338.1/.3:004

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ТОВАРНЫМ РЫНКОМ

*Биба Е.В.*

ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли  
имени Михаила Туган-Барановского», г. Донецк, ДНР  
*katerina.biba@yandex.ru*

**Введение.** Созданные цифровыми технологиями принципиально новые возможности дали вектор развития для выстраивания взаимоотношений между бизнесом и населением, в котором исключаются звенья посредников, и ускоряется проведение различного рода финансовых сделок и операций. Важно отметить, что цифровая экономика построена на системе отношений таких составляющих как: цифровая информация, методы и технологии ее обработки, цифровые ресурсы [1]. Безусловно, для осуществления деятельности торговых организаций в условиях цифровизации необходим системный подход, который рассматривает информационные технологии, как часть системы, успешное функционирование которой возможно лишь при комплексном взаимодействии всех элементов.

**Основная часть.** Целью внедрения информационных технологий является создание системы, в которой информационные потоки налажены таким образом, что пользователи с минимальными затратами получают доступ к необходимой информации. Авторы [2, с. 9], определяют информационные технологии и системы как инструмент, основное назначение которого – достижение поставленной цели путем координации различных производственных процессов, а базисом данного инструмента являются знания.

В целом, информационные технологии и системы представляют собой объединение трех компонентов таких как: техническое (аппаратное) обеспечение (Hardware), программное обеспечение (Software), алгоритмическое (интеллектуальное) обеспечение (Brainware, knoware) объединенные в систему. Данные компоненты являются равнозначными, и в тоже время, не могут функционировать друг без друга. Их объединение может быть представлено в виде множества (1):

$$Q = H \cup S \cup B \quad (1)$$

где  $Q$  – информационные технологии и системы;

$H$  – техническое (аппаратное) обеспечение;

$S$  – программное обеспечение (Software);

$B$  – алгоритмическое (интеллектуальное) обеспечение (Brainware, knoware).

Информационные технологии и системы управления рынком продовольственных товаров являются ядром пересечения трех вышеуказанных компонентов, представленных на рисунке 1, и представляют множество (2), выделенное в отдельную позицию на основе которого функционирует товарный рынок.

$$QP = H \cap S \cap B \quad (2)$$

где  $QP$  – информационные технологии и системы управления рынком продовольственных товаров.



Рис. 1. Геометрическая интерпретация информационных технологий и системы управления рынком продовольственных товаров

Стоит отметить, что многие информационные технологии являются универсальными и использованы в различных отраслях и сферах бизнеса. Их стремительное развитие привело к переосмыслению устоявшихся понятий и появлению новых дефиниций в экономике, в частности, «электронная коммерция», «электронная торговля», «электронный магазин», «электронные деньги», «электронная подпись», «виртуальная логистическая система», «электронная торговая платформа», «виртуальная витрина», «электронная торговая площадка», «цифровой маркетинг», «цифровые покупатели», «цифровые площадки».

Интернет дал простые и универсальные инструменты исследования рынка и общения с контрагентами и партнерами, которые (инструменты), в свою очередь, дали мощный толчок развитию новых информационно-компьютерных технологий для построения информационных систем. Одной из них является SCM (система управления цепочкой поставок), которая объединяет поставщиков, дистрибуторов и потребителей в единый логистический процесс.

Система управлением цепью поставок охватывает весь спектр связей и процессов поставок продукции: она позволяет автоматизировать определение нужд и заказчиков на ресурсы предприятия, определять потребителя, оформлять и осуществлять поставку готовой продукции. В сфере торговли, Интернет связывает воедино хозяйствующие субъекты и бизнес-процессы полностью автоматизируются и, по мнению автора [3], «максимизируется ценность фирменной сети».

**Заключение.** Особенностью товарных рынков является то, что они ориентированы на сезонность, динамичность, довольно высокую конкуренцию и, соответственно, постоянную борьбу за лидерство. Товарным рынкам присуще использование интегрированного подхода, в основе которого лежит формирование и управление логистическими цепями. Сущность электронной логистики актуальна не только в ситуации физической поставки продукции от производителя к потребителю через цепочку других организаций, ее можно отнести и к ситуациям, которые связаны с организацией информационных потоков в электронном виде для решения проблем и задач компаний, которые в своей работе используют Интернет.

## Список литературы

1. Устюжанина Е. В. Цифровая экономика как новая парадигма экономического развития [Электронный ресурс] / Е. В. Устюжанина, А. В. Сигарев, Р. А. Шеин. – Текст : непосредственный // Экономический анализ: теория и практика. – 2017. – Т.16. – №12. – С. 1784–1794.
2. Тронин Ю. Н. Информационные системы и технологии в бизнесе / Ю. Н. Тронин. – Москва : Альфа-Пресс, 2005. – 235 с. – Текст : непосредственный.
3. Kelly K. New Rules for the New Economy. Ten Radical Strategies for a connected World / K. Kelly. – N.Y. : Penguin Books, 1998. – 191 pp.

## ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ФИНАНСОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

*Гайдарь Е.В.*, канд. экон. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*e.gaydar@donnu.ru*

**Введение.** К проблемам оценки финансового потенциала предприятия существуют различные подходы по формированию систем аналитических показателей, которые достаточно часто предоставляют различную аналитическую информацию о финансовом потенциале, уровне развития компетенций в сфере финансового менеджмента и его достаточности для реализации финансовых целей предприятия.

**Цель исследования** – обосновать методический подход к выбору финансовой позиции предприятия на основе комплексной оценки финансового потенциала предприятия.

**Основная часть.** Получение высоких конечных результатов, экономический рост и эффективность развития предприятий зависит от рационального формирования и использования финансового потенциала.

Методические подходы к оценке финансового потенциала предприятий различных сфер экономической деятельности, сформулированные в работах [1–6] основываются на использовании методов интегральной оценки, хотя состав частных индикаторов для построения обобщающего интегрального показателя уровня финансового потенциала в каждом из этих подходов разный, все они предусматривают моделирования синтетического показателя с помощью методов нормирования и стандартизации (по эталонным или средним значением) или построения аддитивной модели (с использованием корреляционно-регрессионных зависимостей или рейтинговых оценок).

Каждый из рассмотренных подходов имеет ограниченную сферу использования специфики целевой направленности исследований, в рамках которых они были разработаны. С точки зрения практического применения, самой конкретикой характеризуется рейтинговый подход к оценке финансового потенциала предприятия, предложенный в работе П. А. Фомина, Н. К. Старовойтова [5, с. 28]. Вводя предельные значения для частных показателей финансового потенциала, ученые предлагают по каждому коэффициенту определять уровень финансовых возможностей (высокий, средний или низкий), а обобщенную оценку осуществлять экспертным путем.

Обобщая накопленный современной экономической наукой опыт относительно оценки финансового потенциала предприятия целесообразно

систематизировать методы, использование которых позволит решить задачу комплексной оценки. Прежде всего, следует отметить, что согласно теории экономического анализа все методы комплексной оценки классифицируют на описательные и расчетные [3, с. 132]. Соглашаясь с общепринятым подходом, считаем, что с целью обобщения числовой или лингвистический оценки целесообразно использовать также группу графоаналитических методов, которые предусматривают представление результатов оценки графическим способом.

Применение описательного метода при оценке финансового потенциала получило развитие в исследовании Н. А. Сорокиной, в котором рекомендуется определять уровень финансового потенциала по шкале «высокий – средний – низкий», используя такие лингвистические признаки, как наличие прибыли по результатам деятельности предприятия и стабильность его финансового состояния [4, с. 28]. На наш взгляд, данные признаки не в полной мере описывают имеющиеся финансовые возможности, поскольку за рамками оценки оставляют возможности внешнего финансирования развития компетенции по повышению стоимости бизнеса за счет реализации финансовой стратегии. При разработке методических подходов на базе описательного метода целесообразно разрабатывать более детальную анкету, ответы которой должны быть однозначными и независимыми от восприятия респондента.

Расчетные методы комплексной оценки опираются на количественные показатели и предусматривают их обобщения с помощью построения аддитивных, мультипликативных, рейтинговых моделей. Изучение возможных подходов и содержание комплексной оценки финансового потенциала позволяет выделить следующие расчетные методы, как рейтинговый (преимущественно балльный) метод, метод расстояний, интегральный метод.

Балльная рейтинговая оценка финансового потенциала заключается в переводе фактических значений показателей, характеризующих состояние финансовых ресурсов и компетенций, в баллы по определенной оценочной шкале. В условиях, когда сложно однозначно установить, какой уровень показателя считать высоким, средним и низким с соответствующими им баллами, целесообразно применять метод нечетких множеств.

С целью учета различий в показателях оценки финансового потенциала в работах [2; 6] рекомендуется использование методов нормирования и стандартизации, которые по содержанию являются разновидностями метода расстояний. Базой сравнения в таких условиях могут быть среднегрупповые, минимальные или максимальные показатели, сопоставление с которыми фактических значений позволяет учесть различия между ними для различных объектов. С нашей точки зрения, и нормирования и стандартизации в целях оценки финансового потенциала предприятия при разработке его финансовой стратегии

должны основываться не на сравнении с показателями аналогичных предприятий (средне групповыми, максимальными или минимальными), а только на сопоставлении с целевым (эталонным) их уровнем.

Интегральный метод при осуществлении комплексной оценки финансового потенциала, рассматриваемый в работе [2] имеет вспомогательный характер и заключается в агрегации результатов, полученных с помощью метода расстояний, путем построения интегральной (как правило, аддитивной) модели. В состав такой модели, например, согласно методическому подходу, предложенному И. В. Яроцким предлагается включать коэффициенты платежеспособности, финансовой устойчивости и рентабельности, которые на первом этапе стандартизуются по среднеквадратичным отклонением, а на втором – с использованием определенного критерия [6, с. 58.].

**Заключение.** Таким образом, обобщая рассмотренные методические подходы к комплексной оценке финансового потенциала предприятия, следует отметить, что все они имеют определенные ограничения и преимущества и не могут применяться изолированно. Комплексность объекта оценки требует применения одновременно нескольких методов, обеспечивающих получение результата, наиболее релевантного целям оценки.

### Список литературы

1. Гайдарь Е. В. Информационно-аналитическое обеспечение системы стратегического финансового менеджмента предприятия / Е. В. Гайдарь. – Текст : электронный // Торговля и рынок. – 2021. – № 2'(58). – С. 135–146. – URL: <http://trade.donnue.education/archiv/2021.html> (дата обращения: 10.09.2021).
2. Зенченко С. В. Система интегральной оценки финансового потенциала региона и методика ее формирования / С. В. Зенченко, В. И. Бережной. – Текст : электронный // РППЭ. – 2008. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-integralnoyotsenki-finansovogo-potentsiala-regiona-i-metodika-ee-formirovaniya> (дата обращения: 10.09.2021).
3. Пожарская А. С. Методический подход к оценке финансового потенциала на основе определения таксономического показателя / А. С. Пожарская. – Текст : непосредственный // Управление развитием. – №18(158). – 2013. – С. 130–134.
4. Сорокина Н. А. Финансовый потенциал коммерческих организаций: модели и факторы / Н. А. Сорокина. – Текст : непосредственный // Электронный научный журнал Байкальского государственного университета экономики и права «Известия Иркутской государственной экономической академии». – 2011. – № 6. – С. 25–29
5. Фомин П. А. Особенности оценки производственного и финансового потенциала промышленных предприятий / П. А. Фомин, М. К. Старовойтов. – Текст : непосредственный // Среднее профессиональное образование. – 2002. – № 11. – С. 25–35.
6. Яроцкий И. В. Методический подход к оценке финансового потенциала страховой организации / И. В. Яроцкий. – Текст : непосредственный // Вестник ТГЭУ. – 2012. – № 3. – С. 55–63.

## **К ПРОБЛЕМЕ ВНЕДРЕНИЯ СТАНДАРТОВ УПРАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ В ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

***Коробейникова К.В.*, канд. экон. наук**

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

*k.korobeinikova@donnu.ru*

**Введение.** На современной стадии развития общества перед архивными учреждениями остро стоит проблема эффективного размещения доступных ресурсов для улучшения качества оказания архивных услуг. Решение этой проблемы требует использования на практике управления методами сравнительной оценки возможных вариантов распределения ресурсов. При выборе лучшего варианта размещения ресурсов должны быть приняты во внимание экономические, технологические, социальные, политические и иные факторы.

Наиболее радикальные изменения в ДНР и Российской Федерации в этом направлении произошли в течение последних и нашли отражение в переходе от административных методов управления системой архивного дела к нормативным показателям результативности архивных учреждений с учетом качества их работы и ресурсного обеспечения [1, с. 8].

С учетом того, что дальнейшее улучшение качества предоставления архивных услуг является не только самостоятельной целью, но и фактором экономической эффективности системы архивного дела в целом, внедрение стандартов оказания услуг представляется чрезвычайно актуальным.

**Основная часть.** Стандартизация в сфере архивного дела – это деятельность по установлению правил и процедур оказания архивных услуг в целях их многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в указанной сфере.

Под стандартом понимается формализованное описание ресурсного обеспечения и последовательности действий при оказании архивных услуг.

Цели стандартизации в сфере архивного дела:

- предоставление архивных услуг надлежащего качества;
- обеспечение эффективности предоставления архивных услуг;
- переход на единые нормы (стандарты) оказания архивных услуг, которые соответствуют международным стандартам;
- предоставление архивных услуг с учетом научно-технических знаний, рациональности использования имеющихся ресурсов; системы оценки качества и результативности действий.

Известно, что предпосылкой обоснования управленческих решений является достоверная, объективная, дифференцированная информация об архивных услугах. Потому одним из важных мероприятий улучшения эффективности функционирования системы архивного дела является проведение мониторинга и рейтинговой оценки качества оказания архивных услуг в архивах [1].

Стандарты оказания архивных услуг, разработанные на основе международных стандартов в сфере архивного дела, являются основой для оценки качества архивных услуг.

В современном мире заметны тенденции переосмысления эффективности оказания архивных услуг, функций архивных учреждений, взаимоотношений архивных учреждений, общества и государства. Улучшение эффективности деятельности в сфере архивного дела – это не только и не столько изменение структуры и штатов архивных учреждений, сколько совершенствование механизмов реализации их функций.

Реформа сферы архивного дела в ДНР и РФ будет успешной, если на уровне каждого архивного учреждения будет четкое понимание не только поставленных и решаемых целей и задач, проводимых мероприятий, но и будут внедрены стандарты оказания архивных услуг, на основе которых будет осуществляться оценка достижения ожидаемых конечных результатов в сфере архивного дела. А социально-экономическое развитие архивной отрасли зависит от повышения эффективности деятельности каждого архивного учреждения.

Следует отметить, что для получения максимального эффекта от сферы архивного дела требуется оценка не только совокупных результатов, но и постоянный мониторинг деятельности архивных учреждений и качества оказываемых ими услуг и их доступности населению.

Персонал архивных учреждений в своей деятельности использует как профессиональные, так и этические стандарты. Этические стандарты деятельности – это стандарты поведения работников архивных учреждений, выстраивание поведения с клиентами, своими коллегами, вышестоящими организациями, инвесторами. Основой этического стандарта является «Этический кодекс», принципы этики и деонтологии.

Сфера управления электронными архивными документами связана, прежде всего, с определением стратегии их приобретения и последующей организации хранения. В этой области первоочередной актуальной задачей является изучение состава и содержания документов данного типа с целью определения перспектив их научного и практического использования и установления регламентированного режима обеспечения их доступности. Очевидно, что действующие типовые перечни архивных документов слишком обобщены, имеют, прежде всего, методологическое значение для выполнения работ в области комплектования документов, создаваемых не только в электронном, но и в традиционном виде. Они могут служить

основой для разработки списков, ориентированных на приобретение электронных документов, отражающих специфику документального обеспечения деятельности архивных учреждений, выполняющих преимущественно административные функции.

Целенаправленная работа в этом направлении позволит спланировать объем и состав электронных документов для последующего принятия на постоянное или – в отношении кадровых архивных документов – на долгосрочное хранение, что позволит государственным архивам определить необходимую площадь для архивов. Изучение специфики деятельности конкретных источников приобретения электронных архивных документов также необходимо для решения известной проблемы соотношения форматов документов, используемых в учреждениях, создающих электронные документы, относящиеся к ценной категории, и в архивах, готовых к приему. этих документов на постоянное хранение. Представляется, что в этой области для обеспечения сохранности документального наследия, созданного с использованием обновленного программного обеспечения, важной задачей в управлении государственными архивами электронных архивных документов является постоянная адаптация их программно-аппаратной среды к реалиям развитие практики электронного архивного документооборота, как управленческой, так и других сфер деятельности [2].

**Заключение.** Глобальное применение ISO15489 включает ряд аспектов, предусматривающих:

- формулирование исчерпывающих руководящих принципов управления и конкретных рабочих принципов и методов для выполнения задач управления документами;
- формулирование и оценку политик и стратегий управления документами;
- разработку системы целевого управления документами организации;
- формирование структуры управления для внедрения передового опыта в области управления документами;
- повышение осведомленности об управлении документами всех сотрудников организации и пропаганды важности управления документами со стороны высшего руководства организации

## **Список литературы**

1. Ларин М. В. Управление документами в цифровой экономике / М. В. Ларин, Н. Г. Суровцева. – Текст : непосредственный // Отечественные архивы. – 2019. – № 1. – С. 121–123.
2. Шокирова Ф. Интерпретация архивных документов, цель и формы использования документов / Ф. Шокирова. – Текст : непосредственный // Сборник статей по материалам LXXXIII международной научно-практической конференции «Инновационные подходы в современной науке». – 2020. – С. 152–156.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЙНОГО АППАРАТА ЦИФРОВОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

*Курдюмова И.А.*, канд. филол. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*i.kurdiumova@donnu.ru*

**Введение.** В научных исследованиях последних лет проблема формирования понятийного аппарата цифрового документооборота является одной из самых актуальных. Это объясняется тем, что на современном этапе развития общества и технологий роль цифрового документооборота постоянно растет. Кроме того, электронный документооборот является важнейшим средством передачи информации и влияния на сферу официально-деловых и торговых отношений и общество в целом.

Сегодня понятие «документ» рассматривают с учетом разных аспектов, однако не существует единого принятого подхода к его толкованию.

Актуальность исследования предопределена направленностью научных исследований на формирование понятийного аппарата цифрового документооборота, а также выделение характерных терминов, используемых в цифровой среде.

В последние годы цифровой документооборот является центром внимания в работах многих исследователей, среди которых Л. Н. Варламова, М. В. Ларин, Е. А. Плешкевич, В. Ф. Янковая и др. [1–3].

Объектом исследования является понятийный аппарат цифрового документооборота, а предметом – унификация терминологии цифрового документооборота.

**Цель исследования** – определить особенности понятийного аппарата цифрового документооборота. Задачами исследования является анализ и обобщение требований стандартов к понятийному аппарату цифрового документооборота, а также выделение его характерных признаков.

**Основная часть.** Первоначально документ рассматривался как материальный объект, содержащий запись семантической информации.

В современных исследованиях понятие «документ» объясняют по-разному: сравнивают с текстом, рассматривают как «результат закрепления информации о предметах объективной действительности и о мыслительной деятельности человека посредством письма, графики, фотографии, звукозаписи или другим способом на любом носителе» [2].

В стандарте ИСО 5127-1985 «Информация и документация» под документом понималась «записанная информация, которая используется

как единица в документационном процессе». Словарь архивной терминологии рассматривает понятие документа как комбинацию носителя и информации, записанной на нем, которая может использоваться для осведомления или освидетельствования, как обособленная единица документального фонда, архива или записи.

В новом стандарте ИСО 15489-1 «Информация и документация» под «документом» понимается «записанная информация или объект прав, которые могут рассматриваться как единое целое» [4].

Трактовка документа в качестве информационного актива представляется чрезвычайно важной, так как она не только подчеркивает наличие информационной составляющей в понятии документа, но и характеризует документ как объект имущества, имеющий денежную оценку.

В то же время как документ рассматривается также понятие записи, обозначавшее в древнерусском языке конкретные документы или их разновидности.

Международный стандарт ИСО 15489-1 является основополагающим в сфере управления документацией. Он содержит инструкции и руководства относительно основных концепций, практических методов и технических приемов управления документацией, понятия и принципы формирования документальных систем.

В этом стандарте определено, что документы должны рассматриваться одновременно как информационные активы и свидетельства деловой деятельности. Для поиска документов и сохранения контекста, а также для применения соответствующих правил по управлению документами должны применяться метаданные документов.

Все большее количество документов в виде записей формируется в цифровой среде, что открывает множество новых возможностей для их использования. Цифровая среда также обеспечивает большую гибкость для внедрения инструментов управления документами внутри системы и между системами, которые управляют документами.

Изменяющиеся бизнес-модели расширяют обязанности по документированию, выводя их за пределы традиционных организаций и юрисдикций. Это требует от профессионалов в области управления документацией понимания различных потребностей различных заинтересованных сторон, которые могут включать общественность, государственные учреждения, коммерческие организации и других пользователей услуг, которые нуждаются в управлении документацией.

Термин «создание, ввод и управление» в международных стандартах ISO 15489 применяется для обобщения всего процесса управления документами. Эта формула включает процесс поиска документов и многие другие процессы управления документами, описанные в ISO 15489-1.

Принимая во внимание вышеуказанные факторы, ISO 15489-1 признает:

- а) роль документов как важного инструмента формирования деловой активности и информационных активов;
- б) возможность использования документов в цифровой среде;
- в) правила, предусмотренные для создания, записи и управления документами, выходящими за рамки традиционных организационных границ, например, в совместной и иерархической рабочей среде;
- г) что документ может быть независим от управления записями других компонентов документной системы;
- д) регулярный анализ бизнес-среды для определения того, какие документы следует создать, какие документы следует ввести в систему и как ими следует управлять в дальнейшем;
- е) управление рисками при формулировании стратегий управления документами.

**Заключение.** Документы относятся к документированной информации, созданной, полученной и хранимой организациями или частными лицами в качестве доказательств и активов для поддержки юридических обязательств или коммерческих транзакций.

Это понятие используется для характеристики управления документами в цифровой среде. Оно относится к области управления, документами, которая обеспечивает эффективное и систематическое создание, получение, использование, хранение или уничтожение документов, включая процесс ввода в систему и их сохранения как доказательства и информацию, относящуюся к деловой деятельности и обмену информацией.

## Список литературы

1. Плешкевич Е. А. Соотношение понятий «тип документа» и «форма представления документа» на примере цифрового документа / Е. А. Плешкевич. – Текст : непосредственный // Библиография. Научный журнал по библиографоведению, книговедению и библиотековедению. – 2008. – № 5. – С. 23–29.
2. Янковая В. Ф. Понятия «электронный документ» и «архивный электронный документ» / В. Ф. Янковая. – Текст : непосредственный // Делопроизводство. – 2019. – № 3. – С. 10–16.
3. Варламова Л. Н. Международная стандартизация аспектов управления документами и архивами: ИСО/ТК 171 «Приложения для управления документами» / Л. Н. Варламова. – Текст : непосредственный // Делопроизводство. – 2021. – № 1. – С. 66–70.
4. ГОСТ Р ИСО 15489-1–2019. Информация и документация. Управление документами. Часть 1. Понятия и принципы : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 марта 2019 г. № 1010-ст : взамен ГОСТ Р ИСО 15489-1–2007 : дата введения 2020–01–01 / подготовлен: Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (Стандартинформ) [и др.]. – Москва : Стандартинформ, 2019. – V, 17 с. – (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу). – Текст : непосредственный.

## ОБРАЩЕНИЯ ГРАЖДАН КАК ИНСТРУМЕНТ КОММУНИКАЦИЙ В РАБОТЕ ОРГАНОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ

*Машченко Н.Е.*, канд. экон. наук, доц.

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

*n.mashchenko@donnu.ru*

**Введение.** Деятельность государственных учреждений отличается высокой степенью бюрократизации. Общество зачастую считает государственные органы закрытыми структурами [1].

В условиях информационного общества все больше внимания уделяется открытости и демократичности органов власти, что реализуется посредством таких инструментов как «электронное правительство», «электронная демократия» с применением информационно-коммуникационных технологий.

Основная цель гармонизации отношений органов власти с обществом – это использование информационно-коммуникационного потенциала в качестве ресурса проведения государственной политики.

Под информационно-коммуникационным потенциалом государственной власти понимается наличие эффективных информационных каналов, с помощью которых власть может объяснять обществу причины принятия тех или иных решений, а также устанавливать обратную связь с обществом, которая позволяет узнавать потребности общества, анализировать их и вносить корректизы в государственную политику с учетом интересов общества [1].

Одной из форм взаимодействия органов власти с гражданами на пути реализации электронного правительства являются обращения граждан, поданные в электронном виде.

**Цель работы** – провести анализ электронных обращений граждан, подаваемых в органы государственной власти Донецкой Народной Республики как инструмента коммуникаций между государством и обществом.

**Основная часть.** Право граждан Донецкой Народной Республики на обращение лично, а также направление индивидуальных и коллективных обращений в государственные органы и органы местного самоуправления закреплено Конституцией Донецкой Народной Республики [2].

Согласно Закона Донецкой Народной Республики «Об обращениях граждан», граждане имеют право обращаться лично, а также направлять индивидуальные и коллективные обращения, включая обращения объединений граждан, в том числе юридических лиц, в государственные органы, органы местного самоуправления, средства массовой информации,

в учреждения и организации, на которые возложено осуществление публично значимых функций, и их должностным лицам [3].

Особенно актуальным вопрос подачи электронных обращений граждан встал в связи с введением ограничительных мер вследствие Covid-19. Например, в соответствии с Указом Главы Донецкой Народной Республики от 14.03.2020 № 57 »О введении режима повышенной готовности» (с изменениями) [4] личные приемы граждан органами государственной власти во II и IV квартале 2020 года, а также частично в III квартале 2020 года не проводились; в январе и феврале 2021 года не проводились. А, значит, у граждан появлялось больше необходимости подавать обращения электронным способом.

Анализ сайтов органов государственной власти Донецкой Народной Республики позволяет утверждать, что далеко не все на своих сайтах представляют информацию о количестве обращений граждан, что не позволяет в полной мере проанализировать статистику по данному вопросу. Также не на всех сайтах имеются формы электронных обращений, а лишь электронные адреса, на которые могут быть поданы обращения.

Проанализируем долю электронных обращений в общем объеме таковых в некоторых органах государственной власти ДНР.

За 2 полугодие 2020 года в Аппарат Правительства ДНР поступило 340 обращений, из них 146 (43 %) поданы через официальный сайт Правительства ДНР. За 1 квартал 2021 года в Аппарат Правительства поступило 149 обращений, из них 65 (44 %) поступили через электронную форму официального сайта Правительства ДНР; за 2 квартал 2021 года в Аппарат Правительства поступило 153 обращения, из них 81 обращение (53 %) подано через электронную форму официального сайта Правительства ДНР.

В Министерство экономического развития за 2017 год поступило 456 обращений, из них 40 обращений (9 %) – в форме электронного письма через официальный сайт; за 2018 год поступило 211 обращений, из них 57 (27 %) – по телефону или электронной почте; за 2019 год поступило 297 обращений, из них 38 (13 %) – по электронной почте или через официальный сайт; за 2020 год поступило 143 обращения, из них 25 (17 %) по электронной почте; за 1 квартал 2021 года в Министерство экономического развития поступило 32 обращения, из них 66 % электронной почтой.

В Государственную инспекцию по вопросам соблюдения законодательства о труде ДНР в 2020 году из общего количества поступивших обращений, 924 обращения поступило в письменном виде, из них 790 – в форме электронного документа, что составляет 85,5 % и свидетельствует о наглядном показателе актуальности подачи обращений в данной форме. В 1 квартале 2021 года из общего количества поступивших обращений, 473 обращения граждан поступило в письменном виде, из них

87 (18 %) – в форме электронного документа. Во 2 квартале 2021 года из общего количества поступивших обращений 317 обращений граждан поступило в письменном виде, из них 100 (31 %) – в форме электронного документа.

Анализ электронных обращений свидетельствует о нестабильности развития данной формы коммуникаций между гражданами и правительственные структурами, хотя наблюдается незначительный рост в тех ведомствах, которые создают условия для их развития.

Основными проблемами на пути повышения взаимодействия органов государственной власти с гражданами в информационном обществе являются такие:

- недостаточная информированность и низкий уровень компьютерной грамотности граждан, что ограничивает их в использовании информационных технологий и сетей;

- нехватка кадров в сфере работы с обращениями граждан и недостаточная их квалификация, в результате чего затягиваются сроки рассмотрения обращений и понижается качество ответов на обращения, что дает основания для увеличения повторных обращений.

**Заключение.** В современных условиях развития требуется системный подход по созданию условий для увеличения электронных обращений граждан, повышение уровня информационной культуры граждан, совершенствование информационных технологий в деятельности государственных органов.

## **Список литературы**

1. Борщевский Г. А. Связи с общественностью в органах власти : учебник и практикум для вузов / Г. А. Борщевский. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 267 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-04736-3. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. с. 22 – URL: <https://urait.ru/bcode/473039/p.22> (дата обращения: 29.09.2021).
2. Донецкая Народная Республика. Конституция (2014). Конституция Донецкой Народной Республики : (по состоянию на 09.12.2015). – Донецк : Мегаинвест, 2016. – 35 с. – (Сборник законодательных актов Донецкой Народной Республики). – Текст : непосредственный.
3. Донецкая Народная Республика. Законы. Об обращениях граждан : закон Донецкой Народной Республики № 13-ИHC: [принят Постановлением Народного Совета Донецкой Народной Республики 20 февраля 2015 года : редакция от 11.09.2020]. – Текст : электронный // Народный Совет Донецкой Народной Республики : официальный сайт. – URL : <https://gisnra-dnr.ru/nra/0002-13-ihc-20150220/> (дата обращения: 29.09.2021).
4. Донецкая Народная Республика. Глава (2017 –2021 , Д. В Пушилин). О введении режима повышенной готовности : Указ Главы Донецкой Народной Республики от 14.03.2020 № 57 : редакция от 24.09.2021. – [Донецк, 2016]. – Текст : электронный // Государственная информационная система нормативных правовых актов Донецкой Народной Республики : ГИС НПА ДНР : официальный сайт. – URL: <https://gisnra-dnr.ru/nra/0001-57-20200314/> (дата обращения: 01.10.2021).

## ВЫБОР СТРАТЕГИИ ИНФОРМАЦИОННО-ОРГАНИЗАЦИОННОГО ДИЗАЙНА НА ОСНОВАНИИ КРИТЕРИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

*Митрохина Е.А.*, канд. экон. наук  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*o.mytrokhina@donnu.ru*

**Введение.** На сегодняшний день к современным организациям предъявляется достаточно большое количество требований, среди которых гибкость, инновационность, приспособленность к стремительно изменяющейся внешней среде, эффективность, ресурсообеспеченность, фокусировка на удовлетворении потребностей потребителей и прочее. Все это предопределяет организационные цели, для реализации которых организациям необходимо приложить значительные системные усилия и реализовать многочисленные организационные вмешательства, дифференциацию и интеграцию деятельности. Сложившаяся ситуация обосновывает необходимость осуществления организационного дизайна.

В силу повсеместного внедрения современных информационных технологий каждая организация стремится к формированию информационно-организационного дизайна, что определяет необходимость выбора соответствующей стратегии деятельности для повышения ее эффективности.

**Цель** – выделить стратегии информационно-организационного дизайна и определить процедуру их выбора исходя из критерия информационной эффективности.

**Основная часть.** Управление организацией, как известно, представляет собой процесс последовательно выполняемых функций, среди которых наиболее важными являются координация трудовой деятельности всех участников организации для достижения поставленных целей, а также мотивация к соблюдению заключенных договоров и контрактов. Этот факт обосновывает необходимость формирования критерия информационной эффективности (далее – КИЭ) организации, который предполагает, что наиболее эффективной будет организация, которая использует меньшее количество информации для поддержания процессов координации и мотивации.

КИЭ может быть применен в рамках процесса принятия управленческих решений, касающихся реализации новых предложений в сфере информационных технологий (IT). Вместе с тем возникает проблема количественной оценки данного показателя.

Современная ситуация показывает, что к оценке КИЭ не может быть предложен единый подход, что обосновывает необходимость применения

бенчмаркинга (эталонного оценивания), то есть сопоставления объемов информации, которые используются различными организациями одной сферы деятельности.

Таким образом, информационная эффективность организации будет повышаться при уменьшении количества информации, используемой для поддержания процессов координации и мотивации. Однако необходимо отметить, что данный показатель также будет увеличиваться за счет роста возможностей самой организации обрабатывать имеющуюся информацию. Такая точка зрения обосновывается в труде зарубежных ученых Э. Бриньолфссона и А. Сондерса [1], которые в своих исследованиях рассматривают влияние ИТ-инвестирования на производительность фирмы. Они обосновывают, что применения ИТ в деятельности организации приводит к уменьшению затрат труда ее сотрудников, работающих с информацией и обрабатывающих ее, что несомненно приводит к уменьшению транзакционных издержек.

КИЭ может рассматриваться как основание для выбора стратегии информационно-организационного дизайна. Так данный критерий позволяет выделить два основных вида данных стратегий (рис. 1).



Рис.1. Стратегии информационно-организационного дизайна

Стратегия уменьшения информации, необходимой для поддержания процесса управления, может осуществляться в виде:

1) компенсация недостатка информации путем создания резервов (например, увеличение запасов сырья и НЗП, появление избыточных мощностей и прочее), что в конечном итоге ведет к снижению экономической эффективности [2]. Таким образом, можно сделать вывод, что такой подход противоречит современным концепциям управления («бережливое производство», «Точно в срок» («Just in time») и другим), однако является достаточно распространенным не смотря на его информационную неэффективность.

2) разделение системы на слабо связанные элементы, группируемые вокруг однородных продуктов или услуг, то есть создание модулей со скрытыми внутренними потоками информации, которые бы самостоятельно обеспечивали весь процесс создания производственной ценности.

Второй вид стратегий реализуется путем создания корпоративных информационных систем (КИС) и развития коммуникаций между

сотрудниками. Такие стратегии можно использовать, когда нет возможности сократить информацию по различным причинам.

Первое направление (создание КИС) всегда сопряжено со сложностями, среди которых можно выделить: необходимость изменений в способах обработки информации, ИТ-инфраструктуре и навыках пользователей; сопротивление изменениям со стороны работников; невозможность дальнейшего развития в силу ограниченности вариантов реализации бизнес-процессов.

Практика показывает, что наиболее предпочтительным будет второе направление этой стратегии, а именно развитие коммуникаций между работниками, создание условий для распространения информации и развития корпоративных знаний [2].

Каждая организация может выбрать для себя любую из стратегий, ориентируясь на коэффициент информационной эффективности (предполагается, что выбранная стратегия должна непременно повышать информационную эффективность организации). Кроме того, перечисленные стратегии можно совмещать.

**Заключение.** Проблема выбора стратегии информационно-организационного дизайна на данном этапе становится наиболее популярной в силу повсеместного применение в практике деятельности организаций новых информационных технологий. Помочь организации определиться с такой стратегией может критерий информационной эффективности, который оценивает объем информации при реализации основных функций управления. Однако такой критерий довольно сложно количественно оценить, поэтому предлагается использовать технику бенчмаркинга.

Организация для улучшения своих экономических результатов должна провести исследование потенциала различных стратегий увеличения информационной эффективности и выбрать наиболее приемлемую для себя стратегию информационно-организационного дизайна.

### **Список литературы**

1. Brynjolfsson E. Wired for Innovation: How Information Technology is Reshaping the Economy / Erik Brynjolfsson, Adam Saunders. – Cambridge: MIT Press, 2009. – 176 p.
2. Zelenkov Yu. A. Information efficiency, information design and information system of an organization / Yu. A. Zelenkov // Business Informatics. – 2017. – No. 2 (40). – P. 25–32. – DOI: 10.17323/1998-0663.2017.2.25.32.

## РЕАЛИЗАЦИЯ УСТАНОВЛЕНИЯ СООТВЕТСТВИЙ ПРИ ВЕРСИОНИРОВАНИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ СПРАВОЧНИКОВ И КЛАССИФИКАТОРОВ

*Неспирный В.Н.*, канд. физ.-мат. наук,  
*Басов И.Г., Шеремет Н.Н.*

ГБУ «Институт экономических исследований», г. Донецк, ДНР  
*itdep.econri@mail.ru*

**Введение.** При проведении различных экономических исследований и статистических наблюдений всегда предполагается построение определенной системы показателей, которые характеризуют различные стороны исследуемых социально-экономических процессов и явлений. В подавляющем большинстве случаев эти показатели имеют не только временное измерение, но ряд других признаков, которые позволяют привязать конкретные значения показателей к определенным видам деятельности, территориальным единицам, заданной периодичности, видам продукции и т.д. Все возможные значения соответствующих признаков, как правило, кодируются и систематизируются в виде классификаторов и справочников. В случае, когда соответствующее исследование или наблюдение имеет официальный государственный статус, такие классификаторы унифицируются и утверждаются уполномоченными органами. Это позволяет в удобной форме систематизировать результаты анализа и представлять их в различных разрезах.

Тем не менее, даже в справочники, официально утвержденные нормативными правовыми актами, с течением времени вносятся определенные изменения или даже они могут утверждаться в новой редакции. Более того, различные государственные органы и даже разные подразделения одного и того же ведомства могут применять разные системы классификации и кодирования информации. В связи с этим при попытке объединения результатов нескольких исследований или наблюдений за определенный период времени либо нескольких показателей по некоторому их общему измерению возникает задача сопоставления нескольких классификаторов или нескольких версий одного и того же классификатора и установления соответствий между их элементами. В настоящей работе рассматривается лишь инструментальная составляющая этой задачи – как могут быть представлены, обработаны соответствия при агрегировании информации. Сопоставление отдельных справочников должно осуществляться в каждой конкретном случае специалистами в соответствующей предметной области.

**Основные определения и постановка задачи.** В статистике классификатор определяется как некоторый нормативный документ по стандартизации, представляющий систематизированный свод наименований и кодов классификационных группировок и (или) объектов классификации [1], либо систематизированный перечень значений определенного признака объекта государственного статистического наблюдения [2]. Разделим понятия классификатора и его содержания (номенклатуры). Под классификатором будем понимать определенный вид классификации признака, либо установленной некоторым нормативным документом, либо используемой определенным аналитиком, оператором, исследователем для собственных расчетов. Номенклатурой считаем перечень всех возможных значений данного признака, которые и определяют содержание того или иного классификатора. Номенклатура одного и того же классификатора может изменяться, в результате мы в каждый период времени имеем разные версии одного классификатора.

Пусть у нас задано некоторое множество классификаторов  $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ , множество их версий  $V = (V_1, V_2, \dots, V_m)$  и множество элементов их номенклатур  $E = (e_1, e_2, \dots, e_k)$ . Отметим, что каждый элемент содержится в номенклатуре определенной версии, и каждая версия является действующей или действовавшей в некоторый период времени номенклатурой определенного классификатора. Таким образом, имеются totally определенные функции  $v: E \rightarrow V$  и  $c: V \rightarrow E$ .

Введем понятие соответствия как бинарного отношения  $\alpha$  на множестве  $E$ . Будем говорить, что два элемента соответствуют друг другу, если они содержательно определяют одно и то же значение признака. Соответствующие элементы могут иметь разные наименования, коды и другие атрибуты. Принципиальным является лишь то, что значения произвольного показателя, связанного со значением классифицируемого признака, которое определяется первым элементом, могут без каких-либо ограничений рассматриваться как значения того же показателя со значением признака, равным второму элементу, и наоборот.

Учитывая данное определение, для отношения  $\alpha$  должны выполняться все свойства эквивалентности:

1. Каждый элемент являются соответствующим себе:  $(e_i, e_i) \in \alpha$ .
2. Если один элемент соответствует второму  $(e_i, e_j) \in \alpha$ , то и второй соответствует первому  $(e_j, e_i) \in \alpha$ .
3. Если каждый из двух элементов соответствует третьему  $(e_i, e_l) \in \alpha$ ,  $(e_j, e_l) \in \alpha$ , то между ними есть соответствие  $(e_i, e_j) \in \alpha$ .

Кроме того, мы накладываем дополнительное ограничение, что в рамках одной номенклатуры не должно быть совпадающих с точки зрения соответствия элементов:

4. Если  $(e_i, e_j) \in \alpha$  и  $v(e_i) = v(e_j)$ , то  $e_i = e_j$ .

Задача заключается в том, чтобы в рамках одной базы данных обеспечить возможность хранения и полноценной работы с классификаторами, версиями и элементами (создание, чтение, изменение и удаление) с поддержкой отношений соответствия между ними, а также обработки показателей, признаки которых могут быть представлены в соответствии с различными версиями классификаторов.

**Основной результат.** При решения этой задачи воспользуемся идеей построения структуры данных для поддержки семейства непересекающихся множеств [3]. В каждом классе эквивалентности отношения  $\alpha$  выберем одного представителя и для каждого элемента  $e_i$  некоторой номенклатуры заведем поле `originId`, которое будет ссылаться на элемент-представитель соответствующего класса эквивалентности (обозначим его  $or(e_i)$ ). Элемент будет представителем тогда и только тогда, когда  $e_i = or(e_i)$ . Если никаких соответствий не установлено, то каждый элемент будет являться представителем своего собственного класса. Рассмотрим реализацию основных операций, которые необходимо поддерживать.

1. *Запрос соответствий.* Для получения всех возможных значений признака, соответствующих заданному элементу  $e_i$ , достаточно сделать запрос к таблице элементов номенклатур со значением в поле `originId`, которое имеет в том же поле элемент  $e_i$ . Для получения значений показателя с заданным значением признака или любым соответствующим ему, необходимо будет выполнить внутреннее соединение таблицы значений этого показателя с результатом предыдущего запроса.

2. *Установление соответствия.* Если требуется установить соответствие между двумя элементами  $e_i$  и  $e_j$  разных номенклатур, недостаточно будет изменить `originID` одного из них. Связано это с тем, что каждый из элементов уже может иметь некоторое число установленных соответствий. Правильная реализация заключается в следующем: для всех элементов, `originId` которых совпадает с идентификатором  $or(e_j)$ , в значение этого поля меняется на идентификатор  $or(e_i)$ . Таким образом, все элементы, соответствовавшие  $e_i$  и  $e_j$ , попадут в один класс эквивалентности (множество соответствия) и представителем для этого множества будет назначен элемент  $or(e_i)$ .

Однако перед выполнением объединения классов должна быть проверена его допустимость. Дело в том, что сохранение свойств 1-3 отношения  $\alpha$  при такой операции гарантируются автоматически, а вот свойство 4 может быть нарушено. Чтобы избежать возможного нарушения, достаточно проверить, что версии всех элементов, соответствующих  $e_i$  или  $e_j$ , различны. Такая проверка может быть реализована также с помощью запроса над таблицами элементов и версий классификаторов.

3. *Исключение элемента из соответствия.* Операция установления соответствия, вообще говоря, является необратимой, поскольку после объединения классов эквивалентности установить, какие элементы

принадлежали одному множеству, а какие второму, не представляется возможным – они все уже связаны с одним и тем же представителем. Поэтому отменить ошибочно выполненную операцию установления соответствия нельзя. Тем не менее можно отделить какой-то один элемент  $e_i$  от всех остальных элементов, соответствовавших ему. Для этого достаточно в поле originID элемента  $e_i$  поместить его идентификатор. После выполнения этой операции вместо одного класса эквивалентности образуется два: первый – состоящий из одного элемента  $e_i$ , и второй – из всех элементов, которые соответствовали  $e_i$ , кроме него самого. Отметим, что эта операция будет без ошибок обработана даже в том случае, если у элемента нет других соответствий.

4. *Снятие всех соответствий одного класса.* Второй вариант обработки ошибочного установления соответствия – это снятие всех соответствий между элементами определенного класса и повторное установление их с чистого листа. Реализация снятия всех соответствий с элементов, соответствующих элементу  $e_i$ , предполагает обновление поля originId значением из поля Id для всех элементов, originId которых совпадает с идентификатором  $or(e_i)$ .

Следует отметить, что в выбранном представлении множества соответствий операция проверки соответствия между двумя элементами реализуется очень эффективно (за время  $O(1)$ ). Также за константное время будет выполняться и исключение элемента из соответствия. Однако операция установления соответствия требует однократного обновления нескольких записей, поэтому ее времененная сложность будет составлять  $O(\text{size})$ , где size – размер множества элементов, соответствующих элементу  $e_j$ . Существует реализация семейства непересекающихся множеств на основе поддержки рангов множеств и сжатия путей [4], которая гарантирует среднее время обработки операций объединения множеств за время  $O(\alpha(\text{size}))$ , где  $\alpha$  – обратная функция Аккермана. Однако этот способ не позволяет выполнить дополнительную проверку свойства 4, не нарушая эту асимптотику. Кроме того, существенно усложняется операция исключения из соответствия. Возможность сохранения константного времени выполнения этой операции представлена в работе [5].

Описанная выше реализация установления соответствий между элементами различных классификаторов продовольственных товаров и операций над ними была использована при разработке модуля «Продовольственный баланс» информационно-аналитической системы агропромышленного комплекса Донецкой Народной Республики [6].

## Список литературы

1. Лифиц И. М. Стандартизация, метрология и подтверждение соответствия / И. М. Лифиц. – 13-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 362 с. – Текст : непосредственный.

2. Республика Казахстан. Законы. О государственной статистике : закон Республики Казахстан № 257-IV: принят Парламентом Республики Казахстан 19 марта 2010 года. – [Астана, 2010]. – Текст : электронный // База данных «ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО СТРАН СНГ» : сайт. – URL: [http://base.spinform.ru/show\\_doc.fwx?rgn=30893](http://base.spinform.ru/show_doc.fwx?rgn=30893) (дата обращения: 19.11.2020).
3. Galler B. A. An improved equivalence algorithm / B. A. Galler, M. J. Fisher // Communications of the ACM. – Vol. 7, Issue 5. – 1964. – P. 301–303.
4. Tarjan R. E. Worst-case analysis of set union algorithms / R. E. Tarjan, J. van Leeuwen // Journal of the ACM. – Vol. 31 (2) – 1984. – P. 245–281.
5. Alstrup S. Union-find with constant time deletions / S. Alstrup, I. L. Gørtz, T. Rauhe, M. Thorup, U. Zwick // Automata, Languages and Programming: 32nd International Colloquium, ICALP 2005, Lisbon, Portugal, July 11-15 2005. Proceedings. – P. 78-89.
6. Лепа Р. Н. Система сценарного динамического анализа «Продовольственный баланс ДНР» / Р. Н. Лепа, А. Е. Высоцкий. – Текст : непосредственный // Вестник Института экономических исследований. – № 18(2). – 2020. – С. 10-17.

УДК 330.342

## **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

***Пономаренко Н.Ш.<sup>1</sup>, канд. экон. наук, доц.,  
Малыгина В.Д.<sup>2</sup>, д-р экон. наук, проф.***

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли  
имени Михаила Туган-Барановского», г. Донецк, ДНР

*n.ponomarenko@donnu.ru, mvd-51@mail.ru*

**Введение.** Продовольственный комплекс Донецкой Народной Республики (ДНР) является одним из крупнейших базисов, обеспечивающих развитие государства за счет выстраивания целостной коммуникации между производством и продовольственной безопасностью населения. В современных условиях эволюция продовольственного комплекса ДНР обеспечивается избирательным протекционизмом, встроенным в долгосрочную стратегию развития и формирующими условия для адаптации национальных производителей в динамично изменяющихся мировых условиях. Достижение целевых индикаторов развития возможно при комбинации с мерами по диверсификации продовольственного комплекса и трансформации общей экономической системы для решения комплексных проблем.

**Цель исследования** – провести анализ аспектов развития продовольственного комплекса ДНР в качестве экономической системы, рассматривая тенденции эволюции, диверсификации и трансформации.

**Основная часть.** Динамика развития экономики ДНР в качестве одной из ключевых целей развития выделяет достижение и обеспечение продовольственной безопасности республики на основании заданного уровня продовольственного обеспечения населения, что базируется на эффективном развитии продовольственного комплекса государства.

Достижение заданных показателей ДНР осложняется широким спектром ограничений функционирования экономики, что определяет необходимость решения проблем самообеспечения ключевыми видами продовольственных товаров [1].

При развитии продовольственного комплекса приоритетным направлением выступает рост экономики, происходящим одновременно с повышением уровня жизни населения и ростом продовольственной безопасности республики. Данная проблема может быть решена на основании эволюции, диверсификации и трансформации продовольственного комплекса ДНР.

Продовольственный комплекс является обязательной частью обеспечения и развития экономической системы и национальной безопасности республики за счет эффективных потоков продовольственных товаров на основании заданных критериев государственной политики.

Другими словами, посредством вертикальной интеграции происходит объединение усилий, которые прилагают производители сырья, их переработчики, оптовые и розничные торговцы продуктами питания. Следовательно, формируется пищевая цепочка: от производителя сырья (аграрные предприятия, фермерские хозяйства и крестьянские хозяйства) до конкретного потребителя.

Структурные компоненты продовольственного комплекса ДНР преимущественно удовлетворяют запросы внутренних потребителей, что является причиной низкой диверсификации на отраслевом и региональном уровнях, а также нехватки ресурсного обеспечения и инновационного развития.

На рис. 1 представлена система продовольственного комплекса на основании удовлетворения потребностей внешней и внутренней конъюнктуры рынка.

Стратегический вектор развития продовольственного комплекса ДНР направлен на раскрытие потенциала за счет повышения динамики экспорта продукции, имеющей высокую долю добавленной стоимости, обеспечения импортозамещения на внутреннем рынке продовольственных товаров за счет достижения целевых индикаторов продовольственной безопасности.

Факторы, обеспечивающие прогресс развития продовольственного комплекса ДНР, обладают краткосрочным базисом и в основном ориентированы на расширение выпуска продукции. При этом

существующий потенциал развития представлен следующими рыночными стейкхолдерами: неиспользуемые производственные мощности, стоимостные диспропорции, наличие возможностей для реализации политики импортозамещения, которые могут быть израсходованы в ближайшее время, если не будут привлечены дополнительные инвестиционные и инновационные потоки.



Рис.1. Взаимосвязи элементов системы продовольственного комплекса

В период становления государственности ДНР трансформации продовольственного комплекса ДНР были хаотичными и непоследовательными, поскольку являлись результатом реакции на возникающие вызовы ввиду негативной внешней конъюнктуры.

По результатам исследования выявлено, что интеграция является эффективным инструментом формирования и функционирования продовольственного комплекса. Однако из-за нестабильной политической и экономической ситуации на территории ДНР наблюдается снижение производства некоторых видов продуктов питания.

Динамично меняющиеся внешние и внутренние условия развития комплекса, его многофункциональность, обострение мировой продовольственной проблемы предопределяют необходимость обоснования сценариев развития продовольственного комплекса, его пищевых цепочек и тенденций в его структуре [2].

**Заключение.** Эволюция продовольственного комплекса ДНР на пути к сбалансированной системе предполагает интеграцию следующих направлений: увеличение экспортных возможностей, обеспечение роста покупательской способности населения на внутреннем рынке, формирование оптимальных условий для роста инвестиционного потока для решения ключевых задач по развитию комплекса за счет привлечения инвестиционных и инновационных потоков, а также увеличения производительности труда.

Стратегическими векторами эволюции, направленной на реструктуризацию продовольственного комплекса ДНР, является широкий перечень развития: соответствие современным тенденциям развития мировой продовольственной системы; выполнение требований к межотраслевой конкурентоспособности; трансформирующаяся структура пищевых потребностей; обеспечение комплексного развития продовольственной сферы.

Перспективами дальнейших исследований является практическая апробация сформированной концепции управления продовольственным комплексом в рамках оптимизации методического инструментария и формирования оптимальной стратегии управления рисками при эволюции, диверсификации и трансформации продовольственного комплекса ДНР.

### **Список литературы**

1. Министерство экономического развития Донецкой Народной Республики : [официальный сайт]. – Донецк, 2015 – . – URL: <https://mer.govdnr.ru> (дата обращения: 02.09.2021). – Текст : электронный.
2. Кирсанов В. В. Приоритетные направления совершенствования государственной поддержки агропродовольственного комплекса / В. В. Кирсанов. – Текст : непосредственный // Региональные агросистемы: экономика и социология. – 2020. – № 1. – С. 57–63.

УДК 81.244

## **ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЯЗЫК В РАБОТЕ С ОБРАЩЕНИЯМИ ГРАЖДАН (НА ПРИМЕРЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ)**

*Семянкова О.И.*, канд. филол. наук, доц.,

*Фионова Л.Р.*, д-р техн. наук, проф.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, РФ

*semyankova@bk.ru*

**Введение.** Обращения граждан – мощный и массовый инструмент взаимодействия населения с органами власти различных уровней. Результаты работы с обращениями граждан включены в системы мониторинга эффективности деятельности государственных органов. Одна из проблем недостаточной эффективности решения проблем зачастую кроется в самих текстах обращений: они могут не соответствовать тем требованиям в области использования государственного языка, которые налагаются на граждан-заявителей. В этой связи уместным представляется проследить сущность требований к использованию государственного

языка в текстах обращений на уровне Российской Федерации и Донецкой Народной Республики.

**Основная часть.** В соответствии со статьей 68 Конституции Российской Федерации «государственным языком на всей её территории является русский язык как язык государствообразующего народа» [1]. Официальная коммуникация (традиционная или электронная переписка, любые формы устного взаимодействия) между органами власти и любыми учреждениями субъектов Российской Федерации, а также с гражданами в Российской Федерации осуществляется на государственном языке Российской Федерации. При этом законодатель установил (п.3 ст.1 Федерального закона «О государственном языке Российской Федерации»), что для официальной коммуникации использовать необходимо именно русский литературный язык [2]. Ответственность за выработку и порядок утверждения норм современного русского литературного языка при его использовании в качестве государственного языка Российской Федерации, лежит на Правительстве Российской Федерации. Таким образом, в «бытовом» понимании эта норма фактически обязывает граждан составлять тексты обращений на безупречном литературном русском языке, не допуская ошибок.

Тот же закон обязывает органы власти использовать русский литературный язык при ведении делопроизводства (пп.1 п.1 ст. 3) и устной официальной коммуникации (пп.6 п.1 ст. 3), что по сути можно интерпретировать как обязанность государственных гражданских служащих давать ответы на обращения исключительно на литературном русском языке, без ошибок в текстах.

В то же время Закон Российской Федерации «О языках народов Российской Федерации» в п.4 ст. 15 не обязывает граждан Российской Федерации к необходимости проверки текстов своих обращений, указывая, что они «вправе обращаться в государственные органы, организации, на предприятия и в учреждения Российской Федерации с предложениями, заявлениями, жалобами на государственном языке Российской Федерации, *родном языке или на любом другом языке народов Российской Федерации, которым они владеют*» (**выделено нами – С., Ф.**) [3]. Не указывает на обязанность составлять обращения на образцовом государственном языке и базовый федеральный закон «О порядке рассмотрения обращений граждан Российской Федерации» (ст. 5, ст. 7) [4].

В марте 2020 г. Народным Советом был принят закон Донецкой Народной Республики «О внесении изменения в статью 10 Конституции Донецкой Народной Республики», убирающий официальное двуязычие (русский/украинский) и вводящий в качестве государственного русский язык [5]. Думается, что это закономерное продолжение унификации языковой политики, восходящее к не прошедшему в феврале 2019 году в Верховном Суде проекту закона Донецкой Народной Республики «О языках в Донецкой Народной Республике». Одной из основных недоработок

проекта закона Верховным Судом было названо отсутствие термина «государственный язык». Норма строгого следования нормам государственного языка отразилась в п.1 ст. 10 закона «Об обращениях граждан» [6], где прямо указана обязанность граждан составлять тексты обращений на государственном языке. П.3 усиливает ранее закреплённую норму и отмечает, что обращение, составленное не по указанным требованиям, «возвращается гражданину с соответствующими разъяснениями». Статья 13 нормативного правового акта обобщает обязанность граждан соблюдать все требования Закона и в части корректного использования государственного языка соответственно.

Подобное положение в законодательстве Российской Федерации отсутствует.

Пункт 2.1.9 «Типовой инструкции по делопроизводству в органах государственной власти, местного самоуправления Донецкой Народной Республики» прямо обязывает государственных и муниципальных служащих осуществлять высокопрофессиональную официальную коммуникацию с гражданами: «Учреждения осуществляют делопроизводство государственным языком».

**Заключение.** Краткий обзор позволяет говорить о некоей непаритетности требований к использованию государственного языка применительно к сторонам официальной коммуникации (граждане-заявители и должностные лица-представители государственных органов) в Российской Федерации в отличие от Донецкой Народной Республики.

В Российской Федерации большинство обязанностей по высокому уровню владения литературной формой государственного языка ложится именно на государственных служащих. К гражданам жесткие требования не предъявляются. Зачастую, к сожалению, это влечет за собой у последних нежелание следовать стилевым нормам официально-делового стиля в текстах обращений. Стихотворная форма, употребление смайлов – не редкость в практике работы российских государственных гражданских служащих. Все это затрудняет работу с обращениями и снижает качество принимаемых решений (непонятные тексты, неточно выбранные слова, излишняя экспрессивность – вот типичные недочеты, с которыми сталкиваются специалисты).

Применительно к требованиям по владению государственным языком участниками письменной официальной коммуникации в нормативных правовых актах Донецкой Народной Республики наблюдается большая сбалансированность. Надеемся, что проблем с пониманием текстов обращений у государственных служащих ДНР меньше.

## **Список литературы**

1. Конституция Российской Федерации URL: <http://www.kremlin.ru/acts/constitution/item> (дата обращения: 27.09.2021).

2. Федеральный Закон Российской Федерации от 01.06.2005 № 53-ФЗ «О государственном языке Российской Федерации». – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/22441> (дата обращения: 27.09.2021).
3. Закон Российской Федерации «О языках народов Российской Федерации». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9003298> (дата обращения: 27.09.2021).
4. Федеральный закон от 02.05.2006 № 59-ФЗ «О порядке рассмотрения обращений граждан Российской Федерации». – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/23764> (дата обращения: 27.09.2021).
5. Конституция Донецкой Народной Республики URL: <https://gb-dnr.com/normativno-pravovye-akty/3977/> (дата обращения: 27.09.2021).
6. Закон «Об обращениях граждан». Принят Постановлением Народного Совета 20 февраля 2015 года. – URL: <https://dnrsoviet.su/zakon-ob-obrashcheniyah-grazhdan/> (дата обращения: 27.09.2021).
7. Постановление Совета министров Донецкой Народной Республики от 16.10.2015 № 19-27 «Об утверждении Типовой инструкции по делопроизводству в органах государственной власти, местного самоуправления Донецкой Народной Республики» URL: [https://ggudoad-dnr.ugletele.com/sites/default/files/documents/tipovaya\\_instrukciya\\_po\\_deloproizvodstvu\\_utv\\_sm\\_no19\\_27\\_16102015.pdf](https://ggudoad-dnr.ugletele.com/sites/default/files/documents/tipovaya_instrukciya_po_deloproizvodstvu_utv_sm_no19_27_16102015.pdf) (дата обращения: 27.09.2021).

УДК 37:005.91

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СПЕЦИАЛИСТА ПО УПРАВЛЕНИЮ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

***Филатова Я.В.*, канд. экон. наук, *Харакиоз А.В.***

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*ya.filatova@donnu.ru*

**Введение.** Специалист по управлению документацией организации каждый день сталкивается с большим объемом документированной и недокументированной информации, которую необходимо обрабатывать, отбирать, систематизировать, сохранять и использовать в своей профессиональной деятельности.

Одним из креативных способов структурировать и запоминать важную информацию является использование такого инструмента, как интеллект-карта. Сегодня, чтобы идти вперед и бороться за повышение своего статуса, специалистам по управлению документами необходимо быстро переобучаться и эффективно использовать в своей работе новые технологии и способы достижения целей, позволяющие оставаться на высоком уровне и успешно реализовывать профессиональные задачи.

**Цель исследования** – анализ возможностей применения интеллект-карт в работе специалистов по управлению документами.

**Основная часть.** Интеллектуальные (ментальные, ассоциативные) карты разработал известный автор методик запоминания и исследователь

проблем мышления Тони Бьюзен в конце 1960-х годов. С тех пор они успешно используются различными специалистами во многих областях деятельности. Основной отличительной особенностью интеллект-карт является их универсальность, способность адаптироваться под любую цель, что, в свою очередь, помогает работникам справляться с разнообразными профессиональными задачами любой сложности.

И, конечно же, специалисты по управлению документацией здесь не являются исключением. Документоведы, архивоведы, делопроизводители, секретари и помощники руководителей определенно должны попробовать этот эффективный инструмент и научиться им пользоваться.

Для начала выделим перечень направлений и видов деятельности специалиста по управлению документацией, в которых можно использовать интеллект-карты для решения поставленных задач [1]:

- протоколирование совещаний, собраний, деловых мероприятий;
- планирование деловых встреч, совещаний, «круглых столов» и др.;
- формирование плановой и отчетной документации;
- упорядочивание деловой переписки, анализ массива документов;
- разработка локальных нормативных актов и номенклатуры дел;
- подготовка докладов и выступлений;
- разработка должностных инструкций работников и определение функционала структурных подразделений;
- планирование рабочего/личного времени для себя и руководителя;
- описание бизнес-процессов в области управления документами;
- дифференциация, структурирование и визуализация информации, детализация сложной задачи, проработка большого объема данных, нахождение решений нестандартных задач, генерация идей и т. п.

Интеллект-карта является визуализированной схемой, готовым набором взаимосвязанных объектов. Содержимое интеллект-карты размещается на одном листе, благодаря чему информация воспринимается как единое целое. С помощью интеллект-карты можно увидеть полную картину решаемой проблемы, поставленной цели, структурировать вводные данные, развить мысль и получить новую идею.

В работе сделана попытка представить визуализацию процесса внутреннего согласования организационно-распорядительных документов заинтересованными должностными лицами организации (рис. 1).

Дадим некоторые пояснения относительно принципов построения интеллект-карты. От центра страницы, где помещена главная цель, отходят ветви первого уровня – основные вопросы процесса согласования. Далее идут второй и следующие уровни – конкретные действия и элементы, уточняющие и детализирующие поставленные задачи на первом уровне. С помощью пунктирных линий между ключевыми элементами подчеркнуты логические связи. Цветовое решение, использование рисунков и символов способствует более четкому восприятию и различению информации.

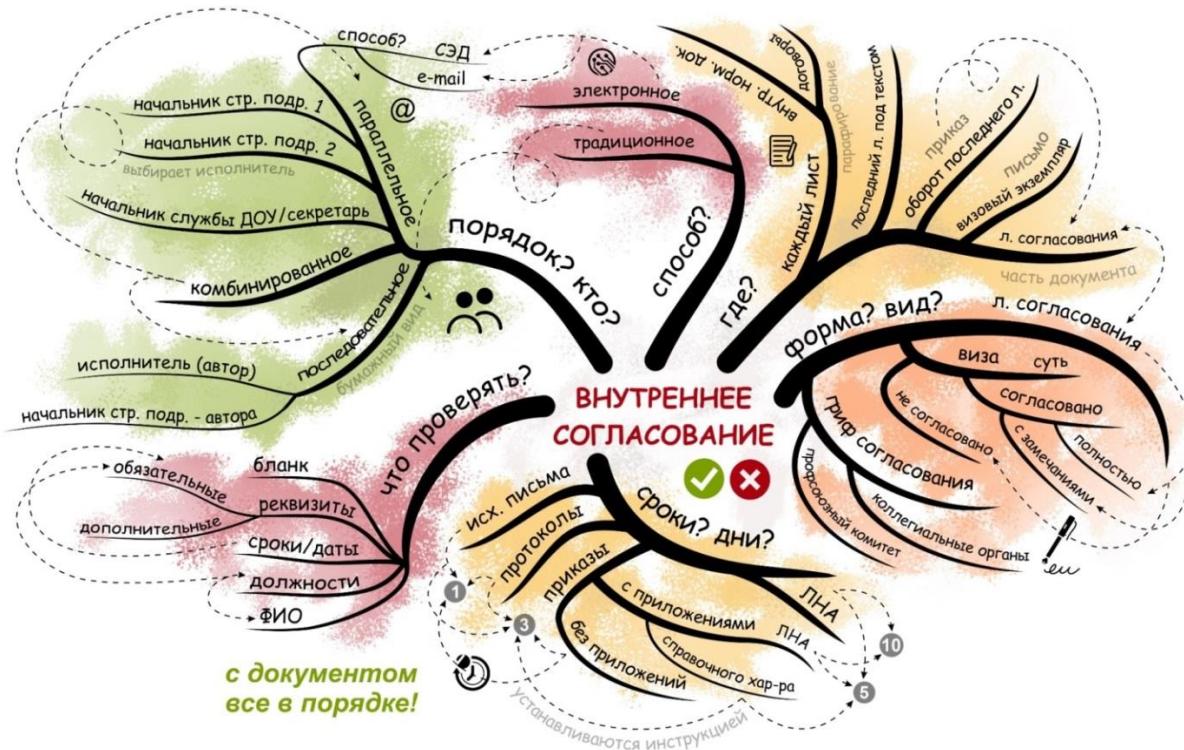


Рис.1. Интеллект-карта согласования документов внутри организации, авторская разработка

Таким образом, авторская интеллект-карта представляет собой визуализированную иерархическую блок-схему, целостный образ пути достижения поставленной цели – внутреннего согласования документа. Понятно, что для создания конкретной интеллект-карты нужно потратить немалое время. Однако, результат полностью оправдает все ожидания – сложный вопрос будет разбит на составляющие, информация будет структурирована и подана в визуализированном виде, что достаточно облегчит ее восприятие и запоминание.

**Заключение.** Применение интеллект-карт в профессиональной деятельности специалистов по управлению документами многогранно и универсально – от систематизации и анализа исходных данных до генерирования новых идей, что существенно упрощает процесс восприятия информации и принятия управлеченческих решений.

## Список литературы

1. Кожанова Е. Інтелект-карти на службі в секретаря / Євгенія Кожанова. – Текст : непосредственный // Довідник секретаря та офіс менеджера. – 2021. – № 4. – С. 27–34.

## ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СОВРЕМЕННЫХ ДОКУМЕНТОВЕДОВ

**Фионова Л. Р.**, д-р техн. наук, проф.,  
**Семянкова О. И.**, канд. филол. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, РФ  
*lrfionova@mail.ru*

**Введение.** Распространение новой инфекции Ковид-19 заставило многие вузы перейти на смешанный или дистанционный формат обучения. Это потребовало от преподавателей колоссальных усилий для сохранения требуемого качества учебных занятий. Возникла необходимость научиться пользоваться старыми и новыми, в том числе и цифровыми, инструментами.

Самым простым оказалось использование электронной почты для взаимосвязи со студентами. На втором месте, наверное, стали собрания в Skype и группы в Viber или переписка в WhatsApp. Третьим инструментом, который пришлось освоить всем, стали видеоконференции с использованием ZOOM, GoogleMeet и т.п. Четвертый канал для связи и общения – это социальные сети, в первую очередь беседа Вконтакте.

Во многих вузах сразу начали создавать или развивать имеющуюся электронную информационную образовательную систему (ЭИОС). Преподавателям потребовалось пройти повышение квалификации, чтобы освоить все приемы работы в ЭИОС и с ЭИОС: загрузка и редактирование контента, разработка и загрузка различных учебных файлов, разработка тестов, создание и ведение форумов со студентами, обеспечение мониторинга учебного процесса. И легче всего заполнили ЭИОС методическими материалами те преподаватели, которые и ранее использовали активные и интерактивные методы обучения. У них уже был разработан методический пакет с комплектами заданий.

**Основная часть.** Выделим основные характеристики активных и интерактивных методов обучения [1, 2]:

цель: развитие способности к самостоятельному мышлению, формирование системного мышления, формирование активной личностной позиции, сплоченность группы;

позиция преподавателя: эксперт, аналитик, руководитель межличностных отношений, эмоциональный стимулятор, лидер с последующей передачей этой функции обучаемым;

способ организации работы: преимущественно групповой.

Наиболее эффективными методами в подготовке документоведов в Пензенском государственном университете являются [3]: метод творческих

заданий [4]; метод дискуссии; метод презентации; метод деловых игр; метод «кейс-стади»; метод ментальных карт; метод перевернутого класса.

Чтобы подготовить специалиста, востребованного на российском рынке труда, вузы сегодня должны ориентироваться на требования работодателей. Согласно Федеральному закону «О независимой оценке квалификации» оценка квалификации работников или лиц, претендующих на осуществление определенного вида трудовой деятельности, работодателями будет проводиться в форме профессионального экзамена в установленном порядке на основе профессиональных стандартов (ПС) [5].

На настоящий момент утверждено достаточно большое количество ПС, в том числе и для подготовки документоведов [6-8], которые как предполагается, должны стать новым механизмом реального обеспечения повышения качества «для получения» конкурентоспособных работников.

Порядок применения ПС определен ст.195.3 Трудового кодекса РФ [9].

Все ПС имеют одинаковую структуру. Каждый ПС содержит описание определенного набора трудовых действий (ТД), которые определяют круг должностных обязанностей по каждой должности и базируются на конкретном наборе необходимых знаний (НЗ) и умений (НУ). На освоение ТД и должны быть нацелены все активные методы и технологии обучения [10].

Например, проблемные профессионально-ориентированные ситуации для применения метода «кейс-стади» разрабатываются на основе реально возникающих ситуаций в условиях осуществления документоведческой профессии и требуют выполнения ТД из соответствующего ПС.

При подготовке ментальных карт учитывается, что сфера делопроизводства нацелена на управление всей работой с организационно-распорядительной документацией в любой компании. Эта работа включает такие ТД, как составление, оформление документов (в том числе и электронных), их обработку, организацию текущего и архивного хранения. Студент должен усвоить, что от того, насколько правильно составлен и оформлен документ, организована работа с ним, во многом зависит своевременность и правильность принятия управленческого решения.

Метод перевернутого класса [11] хорошо работает при изучении локальных актов по делопроизводству, когда сформированные команды готовят сообщения по каждому акту по единым характеристикам (с учетом НЗ и НУ из ПС) и защищают свою позицию перед аудиторией.

**Заключение.** Очевидно, что использование активных методов обучения затратно для преподавателя: требует дополнительных знаний и предполагает обязательный творческий подход при подготовке к занятиям. Но именно эти методы формируют высокое качество учебного процесса, способствуя не только усвоению НЗ и формированию НУ эффективного поведения, но и развитию системности мышления.

## **Список литературы**

1. Белкова Е. А. Методические материалы по программе «Активные и инновационные методы обучения. Обучение взрослых» / Е.А. Белкова. – Ярославль: Академия Пастухова, 2010. – 100 с.
2. Методы эффективного обучения взрослых, Институт повышения квалификации государственных служащих Российской академии государственной службы при президенте Российской Федерации /учебно-методическое пособие // Москва-Берлин, 1999.
3. Фионова Л. Р. Современная организация переподготовки специалистов в сфере документационного обеспечения управления / Л. Р. Фионова // Делопроизводство», № 2, М., 2015. – С.88–92.
4. Фионова Л. Р. Разработка дорожных карт для подготовки специалистов по работе с документами / Л. Р. Фионова // Современные технологии документооборота в бизнесе, производстве и управлении : сб. статей XVIII Международной научно-практической конференции. – Вып.18. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2018. – С. 3–8.
5. Федеральный закон от 03.07.2016 № 238-ФЗ «О независимой оценке квалификации».
6. Профессиональный стандарт "Специалист по организационному и документационному обеспечению управления организацией", утв. приказом министерство труда и социальной защиты РФ от 15.06.2020 N 333н.
7. Профессиональный стандарт "Специалист по управлению документацией организации" утв. приказом Минтруда и соцзащиты РФ от 10.05.2017 № 416н.
8. Профессиональный стандарт "Специалист цифровой трансформации документированных сфер деятельности организации" утв. приказом Минтруда и соцзащиты РФ от 31.03.2021 № 192н.
9. Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ с посл. изм.
10. Фионова Л. Р. Использование профессионального стандарта при преподавании дисциплины «Организация и технология документационного обеспечения управления» / Л. Р. Фионова // Университетское образование (МКУО-2016) : сб. ст. XX Междунар. науч.-метод. конф. (г. Пенза, 7-8 апреля 2016 г.)/ под ред. А. Д. Гулякова, Р.М. Печерской. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. – С.118–120. – URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26117849> (дата обращения: 28.09.2021).
11. Новиков А. М. Формы обучения в современных условиях. – URL:<http://www.anovikov.ru> (дата обращения: 28.09.2021).

# **Математический анализ и дифференциальные уравнения**

УДК 517.5

## **ПРОДОЛЖЕНИЕ ФУНКЦИЙ С ОТРЕЗКА ДО РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЯ СВЕРТКИ**

**Волчков В.В.**, д-р физ.-мат. наук, проф.

**Волчков Вит.В.**, д-р физ.-мат. наук, проф.

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

*valeriyvolchkov@gmail.com, volna936@gmail.com*

Пусть  $E$  – непустое замкнутое подмножество  $\mathbb{R}^n$ ,  $f \in C(E)$ . Проблема продолжения функции  $f$  до решения уравнения свертки в  $\mathbb{R}^n$  изучалась А.Ф. Леонтьевым, А.М. Седлецким, Д.А. Зарайским, В.В. Волчковым и др. (см. [1–6]). Здесь мы продолжаем исследования, начатые в [6], сохраняя основные обозначения этой работы.

Всюду в дальнейшем предполагается, что  $n \geq 2$  и множество  $E$  является отрезком (выпуклой оболочкой двух различных точек) в  $\mathbb{R}^n$ . Не ограничивая общности, будем считать, что  $E$  имеет вид  $E = \{x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n : |x_1| \leq l, x_2 = \dots = x_n = 0\}$  для некоторого  $l > 0$ . Функция  $f \in C(E)$  называется непрерывной по Дини на отрезке  $E$ , если  $\int_0^\alpha \frac{\omega(\delta, f)}{\delta} d\delta < +\infty$  для некоторого  $\alpha > 0$ , где  $\omega(\delta, f)$  – модуль непрерывности функции  $f$  на  $E$ .

Для функции  $f \in C(E)$  и распределения  $T \in \mathcal{E}'(\mathbb{R}^n)$  обозначим через  $C_{T,f}(\mathbb{R}^n)$  множество всех функций класса  $C_T(\mathbb{R}^n) = \{F \in C(\mathbb{R}^n) : F * T = 0\}$ , совпадающих с  $f$  на  $E$ .

Пусть  $SO(n)$  – группа вращений  $\mathbb{R}^n$ . Распределение  $T \in \mathcal{D}'(\mathbb{R}^n)$  называется радиальным, если оно инвариантно относительно группы  $SO(n)$ , то есть  $\langle T, \varphi(tx) \rangle = \langle T, \varphi(x) \rangle$  для всех  $\varphi \in \mathcal{D}(\mathbb{R}^n)$ ,  $t \in SO(n)$ . Обозначим через  $\mathcal{E}'_{rad}(\mathbb{R}^n)$  множество всех радиальных распределений  $T \in \mathcal{E}'(\mathbb{R}^n)$ . Сферическим преобразованием распределения  $T \in \mathcal{E}'_{rad}(\mathbb{R}^n)$  называется четная целая функция

$$\tilde{T}(z) = 2^{\frac{n}{2}-1} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right) \langle T_x, (z|x|)^{1-\frac{n}{2}} J_{\frac{n}{2}-1}(z|x|) \rangle, \quad z \in \mathbb{C},$$

где  $\Gamma$  – гамма-функция,  $J_{\frac{n}{2}-1}$  – функция Бесселя первого рода. Обозначим

$$Z(\tilde{T}) = \{z \in \mathbb{C} : \tilde{T}(z) = 0\}.$$

Пусть  $a > 0$ ,  $b \in \mathbb{C}$ . Будем говорить, что распределение  $T \in \mathcal{E}'_{rad}(\mathbb{R}^n)$  принадлежит классу  $Z_{a,b}$ , если множество  $Z(\tilde{T})$  содержит

последовательность  $\{\lambda_m\}_{m=1}^{\infty}$  комплексных чисел, такую что  $\lambda_m = am + b + \varepsilon_m$ ,  $m = 1, 2, \dots$ , где  $\sum_{m=1}^{\infty} |\varepsilon_m|^2 < +\infty$ .

Из теоремы Пэли-Винера для сферического преобразования следует (см. [4, часть 1, теорема 6.5]), что для любой пары  $(a, b)$  класс  $Z_{a,b}$  является достаточно широким. Принадлежность заданного распределения  $T \in \mathcal{E}'_{rad}(\mathbb{R}^n)$  классу  $Z_{a,b}$  во многих случаях можно проверить с помощью известных асимптотических формул для  $\tilde{T}(z)$  при  $z \rightarrow \infty$ , см. [4, часть 1, теорема 6.1]. Отметим также, что если  $T \in Z_{a,b}$ , то  $T * W \in Z_{a,b}$  для любого  $W \in \mathcal{E}'_{rad}(\mathbb{R}^n)$ .

**Теорема 1.** *Пусть  $T \in Z_{a,b}$  и функция  $f$  является непрерывной по Дини на  $E$ . Тогда для любых  $\varepsilon > 0$ ,  $q \in \{2, \dots, n\}$  существует  $F \in C_{T,f}(\mathbb{R}^n)$ , такая что*

$$F(x) = O(e^{(|Imb|+\varepsilon)|x_q|}), \quad x \in \mathbb{R}^n. \quad (1)$$

Вопрос о том, можно ли в теореме 1 непрерывность по Дини заменить обычной непрерывностью, в общем случае остается открытым. Однако, как видно из следующей теоремы, при  $2b/a \in \mathbb{Z}$  ответ положительный.

**Теорема 2.** *Пусть  $T \in Z_{a,b}$ ,  $2b/a \in \mathbb{Z}$  и  $f \in C(E)$ . Тогда для любых  $\varepsilon > 0$ ,  $q \in \{2, \dots, n\}$  существует  $F \in C_{T,f}(\mathbb{R}^n)$ , удовлетворяющая условию*

$$F(x) = O(e^{\varepsilon|x_q|}), \quad x \in \mathbb{R}^n. \quad (2)$$

Следующий результат показывает, что оценки (1) и (2) для функции  $F$  в теоремах 1 и 2 в общем случае усилить нельзя.

**Теорема 3.** *Пусть  $T \in \mathcal{E}'_{rad}(\mathbb{R}^n)$ ,  $\gamma \geq 0$  и*

$$|Im\lambda| > \gamma \text{ для всех } \lambda \in \mathcal{Z}(\tilde{T}). \quad (3)$$

*Тогда для любой ненулевой функции  $F \in C_T(\mathbb{R}^n)$  существует  $\varepsilon > 0$ , такое что  $\overline{\lim}_{x \rightarrow \infty} |F(x)|e^{-(\gamma+\varepsilon)|x|} = +\infty$ .*

В частности, если  $T \in Z_{a,b}$  и условие (3) выполнено при  $\gamma = |Imb|$ , то оценки (1) и (2) в теоремах 1 и 2 являются неулучшаемыми. Можно показать, что если условие (3) не выполняется, то утверждение теоремы 3 станет неверным.

## Список литературы

- Леонтьев А. Ф. Последовательности полиномов из экспонент / А. Ф. Леонтьев. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
- Зарайский Д. А. О множествах, на которых решения уравнения свертки допускают произвольное поведение / Д. А. Зарайский // Труды ИПММ. – 2017. – Т.31.– С. 90–96.
- Volchkov V. V. Offbeat integral geometry on symmetric spaces / V. V. Volchkov, Vit. V. Volchkov. – Basel: Birkhäuser, 2013. – 592 p.
- Volchkov V. V. Integral geometry and convolution equations. – Dordrecht: Kluwer, 2003. – 454 p.
- Volchkov V. V. Harmonic analysis of mean periodic functions on symmetric spaces and the Heisenberg group / V. V. Volchkov, Vit. V. Volchkov. – London: Springer, 2009. – 671 p.

6. Волчков В. В. Об одной проблеме периодического в среднем продолжения / В. В. Волчков, Вит. В. Волчков. – Материалы V межд. науч. конф. “Донецкие чтения 2020”. – 2020. – Т. 1. – С. 144–145.

УДК 517.5

## РАЗЛОЖЕНИЕ ОБОБЩЕННО-ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВЕКТОРНЫХ ПОЛЕЙ НА ГИPERБОЛИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

*Волчкова Н.П.*<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, доц.,  
*Волчков Вит.В.*<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук, проф.

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*volna936@gmail.com*

Пусть  $\mathcal{P}$  – совокупность функций  $f \in C^1(\mathbb{R})$ , таких что для всех  $x \in \mathbb{R}$  выполнено равенство

$$f(x - 1) - f(x + 1) = 0. \quad (1)$$

Как известно, произвольную функцию  $f \in \mathcal{P}$  можно разложить в равномерно сходящийся ряд Фурье

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} (a_m \cos \pi m x + b_m \sin \pi m x). \quad (2)$$

При этом всякая функция последовательности  $f_m(x) = a_m \cos \pi m x + b_m \sin \pi m x$  принадлежит множеству  $\mathcal{P}$  и удовлетворяет дифференциальному уравнению  $f_m''(x) + \pi^2 m^2 f_m(x) = 0$ .

Будем теперь рассматривать функцию  $f$  как векторное поле в  $\mathbb{R}$ . Тогда соотношение (1) эквивалентно тому, что  $f$  имеет исчезающий поток через любую сферу размерности нуль с радиусом один. Следовательно, разложение (2) характеризует поля, имеющие нулевой поток через все сферы радиуса один. Этот факт допускает нетривиальные обобщения на случай векторных полей в евклидовом пространстве (см. [1], [2]). Здесь мы приведем аналог одного результата из работы [2] для вещественного гиперболического пространства.

Пусть  $\mathbb{R}^n$  – евклидово пространство размерности  $n \geq 2$  с евклидовой нормой  $|\cdot|$ ,  $B = \{x \in \mathbb{R}^n : |x| < 1\}$  – открытый единичный шар в  $\mathbb{R}^n$  со стандартной структурой многообразия и с римановой структурой, задаваемой формулой

$$\langle \xi, \eta \rangle = \frac{(\xi, \eta)}{(1 - |x|^2)^2},$$

где  $\xi$  и  $\eta$  – произвольные касательные векторы в точке  $x \in B$ . Здесь через  $(\xi, \eta)$  обозначено каноническое скалярное произведение в  $\mathbb{R}^n$ . Это риманово многообразие называют моделью Пуанкаре гиперболического пространства  $\mathbb{H}^n$  (см., например, [3, раздел IV]).

Группа Мёбиуса  $\mathcal{M}(B)$  действует транзитивно на шаре  $B$  посредством конформных отображений. Мёбиусовы преобразования являются движениями в модели Пуанкаре гиперболического пространства, реализованного на шаре  $B$ . Гиперболическая метрика  $d$  на этом пространстве определяется равенством

$$d(0, x) = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + |x|}{1 - |x|}, \quad x \in B$$

и условием инвариантности относительно группы  $\mathcal{M}(B)$ . Геодезический шар

$$B_R = \{x \in B : d(0, x) < R\} \quad (R > 0)$$

(соответственно, геодезическая сфера  $S_R = \{x \in B : d(0, x) = R\}$ ) совпадает с открытым евклидовым шаром (соответственно, евклидовой сферой) радиуса  $\operatorname{th} R$  с центром в нуле. Гиперболические эквиваленты элемента объема  $dx$  и элемента площади  $d\sigma$  в  $\mathbb{R}^n$  определяются равенствами

$$dx_h = \frac{dx}{(1 - |x|^2)^n}, \quad d\sigma_h = \frac{d\sigma}{(1 - |x|^2)^{n-1}}.$$

Гиперболическая дивергенция  $\operatorname{div}_h$  гладкого векторного поля  $\bar{A} : B_R \rightarrow \mathbb{C}^n$  связана с евклидовой дивергенцией  $\operatorname{div}_e$  соотношением

$$\operatorname{div}_h \bar{A} = (1 - |x|^2)^n \operatorname{div}_e \frac{\bar{A}}{(1 - |x|^2)^n}.$$

Поле  $\bar{A} \in C^1(B_R)$  называется соленоидальным, если  $\operatorname{div}_h \bar{A} = 0$ .

При фиксированном  $0 < r < R \leq \infty$  обозначим через  $V_r(B_R)$  множество всех непрерывных векторных полей  $\bar{A} : B_R \rightarrow \mathbb{C}^n$ , имеющих нулевой поток через все геодезические сферы радиуса  $r$ , лежащие в  $B_R$ , т.е.

$$V_r(B_R) = \left\{ \bar{A} \in C(B_R) : \int_{gS_r} \langle \bar{A}, \bar{n}_h \rangle d\sigma_h = 0 \quad \forall g \in \mathcal{M}(B) : gS_r \subset B_R \right\},$$

где

$$\bar{n}_h = (1 - |x|^2) \bar{n},$$

а  $\bar{n}$  – единичный вектор нормали к гладкой поверхности в  $\mathbb{R}^n$ . Цель данной работы – получить описание гладких полей класса  $V_r(B_R)$ . Относительно скалярного случая см. [4]–[6].

Пусть

$$\mathbb{S}^{n-1} = \{x \in \mathbb{R}^n : |x| = 1\},$$

$\rho, \sigma$  – полярные координаты точки  $x \in \mathbb{R}^n$  ( $\rho = |x|$ , а если  $x \neq 0$ , то  $\sigma = x/\rho \in \mathbb{S}^{n-1}$ ). Обозначим  $\mathcal{H}_k$  – пространство сферических гармоник степени  $k$  на  $\mathbb{S}^{n-1}$ , рассматриваемое как подпространство  $L^2(\mathbb{S}^{n-1})$ ,  $a_k$  – размерность  $\mathcal{H}_k$ ,  $\{Y_l^{(k)}\}$ ,  $1 \leq l \leq a_k$  – фиксированный ортонормированный базис в  $\mathcal{H}_k$ . Всякой функции  $f \in L_{loc}(B_R)$  соответствует ряд Фурье по сферическим гармоникам вида

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=1}^{a_k} f_{k,l}(\rho) Y_l^{(k)}(\sigma), \quad 0 < \rho < \operatorname{th} R,$$

где

$$f_{k,l}(\rho) = \int_{\mathbb{S}^{n-1}} f(\rho\sigma) \overline{Y_l^{(k)}(\sigma)} d\sigma.$$

При  $k \in \mathbb{Z}_+$ ,  $\rho \in [0,1)$  обозначим

$$H_{\lambda,k}(\rho) = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(\nu+k)_j (\nu+1-n/2)_j}{(2j+k+n)(k+n/2)_j j!} \rho^{2j} \times \\ \times F\left(n-\nu, \frac{2j+k+n}{2}; \frac{2j+k+n+2}{2}; \rho^2\right),$$

где

$$\nu = \nu(\lambda) = (i\lambda + n - 1)/2, \quad (a)_j = a(a+1)\dots(a+j-1) -$$

символ Похгаммера и

$$F(a, b; c; z) = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(a)_j (b)_j}{(c)_j j!} z^j -$$

гипергеометрическая функция Гаусса.

Пусть  $r > 0$ ,  $N(r) = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots\}$  – последовательность всех положительных корней  $\lambda$  уравнения  $P_{-(i\lambda+1)/2}^{-n/2}(\operatorname{ch} 2r) = 0$ , где  $P_z^\mu$  – функция Лежандра первого рода, т.е.  $P_z^\mu(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\mu)} \left(\frac{t+1}{t-1}\right)^{\mu/2} F\left(-z, z+1; 1-\mu; \frac{1-t}{2}\right)$  ( $\Gamma$  – гамма-функция).

**Теорема 1.** Пусть  $\bar{A}: B_R \rightarrow \mathbb{C}^n$  – векторное поле класса  $C^\infty$ . Тогда  $\bar{A}$  принадлежит  $V_r(B_R)$  в том и только том случае, когда

$$\bar{A}(x) = \bar{\mathcal{A}}(x) + \mathcal{B}(x)x,$$

где  $\bar{\mathcal{A}}$  – соленоидальное векторное поле класса  $C^\infty$ ,  $\mathcal{B}(x)$  – скалярное поле, коэффициенты Фурье которого представимы рядами

$$\mathcal{B}_{k,l}(\rho) = \rho^k (1-\rho^2)^n \sum_{\lambda \in N(r)} c_{k,l,\lambda} H_{\lambda,k}(\rho),$$

в которых константы  $c_{k,l,\lambda}$  убывают быстрее любой степени  $\lambda$  при  $\lambda \rightarrow \infty$ .

## Список литературы

- Smith J. Harmonic analysis of scalar and vector fields in  $\mathbb{R}^n$  / J. Smith. // Proc. Camb. Phil. Soc. – 1972. – V. 72. – P. 403–416.
- Волчков Вит. В. Векторные поля с нулевым потоком через сферы фиксированного радиуса / Вит. В. Волчков, Н. П. Волчкова. // Владикавк. матем. журн. – 2018. – Т. 20. – № 4. – С. 20–34.
- Альфорс Л. Преобразования Мёбиуса в многомерном пространстве / Л. Альфорс. – М: Мир, 1986. – 114 с.

4. Volchkov V. V. Offbeat integral geometry on symmetric spaces / V. V. Volchkov, Vit. V. Volchkov. – Basel: Birkhäuser, 2013. – 592 p.
5. Volchkov V. V. Integral geometry and convolution equations. – Dordrecht: Kluwer, 2003. – 454 p.
6. Volchkov V. V. Harmonic analysis of mean periodic functions on symmetric spaces and the Heisenberg group / V. V. Volchkov, Vit. V. Volchkov. – London: Springer, 2009. – 671 p.

УДК 517.5+519.213

## ОБ ОДНОМ СВОЙСТВЕ АДДИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ (ГОМОМОРФИЗМОВ ГРУПП)

*Заставный В.П.*, д-р физ.-мат. наук, доц.,

*Манов А.Д.*, канд. физ.-мат. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*zastavn@rambler.ru, manov.ad@ro.ru*

Мы рассматриваем невырожденные абелевы группы.

*Определение* 1. Пусть  $G$  абелева группа. Функция  $f: G \rightarrow \mathbb{C}$  называется положительно определённой на  $G$  ( $f \in \Phi(G)$ ), если для любого  $n \in \mathbb{N}$ , и для любых точек  $\{x_i\}_1^n \subset G$ , а также для любого набора комплексных чисел  $\{c_i\}_1^n \subset \mathbb{C}$  выполнено неравенство

$$\sum_{i,j=1}^n c_i \bar{c}_j f(x_i - x_j) \geq 0.$$

Пусть  $f, f_i \in \Phi(G)$ . Тогда:

- 1)  $|f(x)| \leq f(0)$ ,  $\overline{f(-x)} = f(x)$ ,  $x \in G$ ;
- 2)  $|f(x+y) - f(x)|^2 \leq 2f(0)(f(0) - \operatorname{Re} f(y))$ ,  $x, y \in G$ ;
- 3)  $\lambda_1 f_1 + \lambda_2 f_2, \overline{\lambda_1 f_1 + \lambda_2 f_2} \in \Phi(G)$ , где  $\lambda_i \geq 0$ ;
- 4) если существует конечный предел  $\lim_{n \rightarrow \infty} f_n(x) =: g(x)$  для всех  $x \in G$ , то  $g \in \Phi(G)$ ;

5) для любых  $x, y \in G$  справедливо неравенство А. Вейля

$$|f(0)f(x+y) - f(x)f(y)|^2 \leq (f^2(0) - |f(x)|^2)(f^2(0) - |f(y)|^2).$$

Свойства 1) – 4) хорошо известны (см., например, [1, 5]). Доказательство свойства 5) приведено в [1, 1.4.12], [5, 32.4(v)], [7, §14], а для положительно определённых ядер в [13, Следствие 7].

Пусть  $G, G_0$  – абелевы группы. Групповые операции в этих группах для удобства будем обозначать одним символом  $+$ . Функция  $\phi: G_0 \rightarrow G$  называется аддитивной (или гомоморфизмом из  $G_0$  в  $G$ ), если  $\phi(x+y) = \phi(x) + \phi(y)$  для любых  $x, y \in G_0$ . Если функция  $\phi: G_0 \rightarrow G$  является аддитивной, то очевидно  $f \circ \phi \in \Phi(G_0)$  для любой  $f \in \Phi(G)$ . В теореме 1

мы докажем, что если  $G$  обладает достаточным множеством характеров, то верно и обратное утверждение.

*Определение 2.* Пусть  $G$  – абелева группа. Функция  $\chi: G \rightarrow \mathbb{C}$  называется характером на  $G$ , если выполняются два условия: 1)  $\chi(x + y) = \chi(x)\chi(y)$  для любых  $x, y \in G$ ; 2)  $|\chi(x)| = 1$  для всех  $x \in G$ .

*Замечание 1.* В этом определении условие 2) очевидно можно заменить на одно из двух условий: 2\*)  $\chi(-x) = \overline{\chi(x)}$  для всех  $x \in G$  и  $\chi(0) = 1$ ; 2\*\*)  $\chi(-x) = \overline{\chi(x)}$  для всех  $x \in G$  и  $\chi(0) \neq 0$ .

*Замечание 2.* Покажем, что в определении характера условие 1) можно заменить на условие: 1\*)  $\chi \in \Phi(G)$ . Необходимость этого условия очевидна, т.к. любой характер на  $G$  является п.о. функцией. Докажем достаточность. Пусть  $\chi \in \Phi(G)$  и  $|\chi(x)| = 1$  для всех  $x \in G$ . Тогда  $\chi(0) \geq 0$  и значит  $\chi(0) = 1$ . К функции  $\chi$  применяем неравенство из свойства 5). Получаем, что  $\chi(x + y) = \chi(x)\chi(y)$  для любых  $x, y \in G$ .

*Определение 3* (см. [3, §1]). Пусть  $G$  – абелева группа. Будем говорить, что  $G$  обладает достаточным множеством характеров, если для любого  $x \in G$ ,  $x \neq 0$ , существует характер  $\chi$  на  $G$ :  $\chi(x) \neq 1$ . Эквивалентное определение: для любых  $x, y \in G$ ,  $x \neq y$ , существует характер  $\chi$  на  $G$ :  $\chi(x) \neq \chi(y)$  (т.е. множество всех характеров на  $G$  разделяет точки  $G$ ).

*Замечание 3.* В 1940 Андре Вейль [7, §27] доказал, что любая локально компактная абелева группа обладает достаточным множеством непрерывных характеров (см. также Д.А. Райков [3, §9], У. Рудин [2, §1.5.2], Э. Хьюитт, К. Росс [4, 23.24, (b)] и Н. Reiter, J.D. Stegeman [6, Remark 4.4.21]). Этот факт вытекает также и из теоремы Гельфанд-Райкова (1943) [8] о достаточно большом количестве непрерывных неприводимых унитарных представлений локально компактной группы (более подробную историю см. в [8] и в обзоре В.П. Гуралий [12, Глава I, §8.1]). Отметим, что для некоторых компактных абелевых групп результат вытекает из более ранних работ Ф. Петера, Германа Вейля (1927) (см. предложение 2 в конце работы [9]) и Л.С. Понtryгина (1936) [10, Теорема 6], [11]. В 1945 Д.А. Райков доказал, что любая топологическая абелева группа обладает достаточным множеством непрерывных характеров [3, §6, Теорема 10] (для дискретной абелевой группы см. [3, §1, Следствие].

**Теорема 1.** Пусть  $G, G_0$  – абелевы группы и функция  $\phi: G_0 \rightarrow G$ . Если  $G$  обладает достаточным множеством характеров, то следующие четыре условия эквивалентны:

- 1)  $f \circ \phi \in \Phi(G_0)$  для любой  $f \in \Phi(G)$ ;
- 2)  $\chi \circ \phi \in \Phi(G_0)$  для любого характера  $\chi$  на  $G$ ;
- 3)  $\chi \circ \phi$  является характером на  $G_0$  для любого характера  $\chi$  на  $G$ ;
- 4) функция  $\phi$  является аддитивной на  $G_0$ .

*Доказательство.* Утверждение 1) $\Rightarrow$ 2) вытекает из того, что любой характер на  $G$  является п.о. функцией. Утверждение 4) $\Rightarrow$ 1) очевидно.

Докажем утверждение  $2) \Rightarrow 3)$ . Пусть  $\chi$  – характер на  $G$  и  $f: G \rightarrow \mathbb{C}$ . По условию  $f \in \Phi(G_0)$  и  $|f(x)| = 1$ ,  $x \in G_0$ . Тогда (см. замечание 2) функция  $f$  является характером на  $G_0$ .

Докажем утверждение  $3) \Rightarrow 4)$ . Из условия  $3)$  вытекает, что для любых  $x, y \in G_0$  и любого характера  $\chi$  на  $G$  выполняется равенство

$$\chi(f(x + y)) = \chi(f(x))\chi(f(y)) = \chi(f(x) + f(y)). \quad (1)$$

Отсюда следует, что  $f(x + y) = f(x) + f(y)$  для любых  $x, y \in G_0$  (в противном случае равенство (1) не будет выполняться для некоторого характера  $\chi$ ).

*Замечание 4.* Стоит отметить, что данная теорема также следует из теоремы [2, 4.6.6, р. 90], которая описывает неотрицательные гомоморфизмы некоторых свёрточных алгебр конечных борелевских мер на локально компактных абелевых группах.

**Следствие 1.** Пусть  $G$  – абелева группа и  $\phi: G \rightarrow G$ . Если  $f \circ \phi \in \Phi(G)$  для любой  $f \in \Phi(G)$ , то  $\phi$  – эндоморфизм.

**Следствие 2.** Пусть  $\phi: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ ,  $\phi$  ограничена в нуле и  $f \circ \phi \in \Phi(\mathbb{R})$  для любой  $f \in \Phi(\mathbb{R})$ . Тогда  $\phi(x) = \alpha x$ ,  $x \in \mathbb{R}$ , где  $\alpha \in \mathbb{R}$ .

### Список литературы

1. Sasvári Z. Multivariate Characteristic and Correlation Functions / Z. Sasvári. – Berlin, Boston: De Gruyter, 2013. – 366 p.
2. Rudin W. Fourier Analysis on Groups / W. Rudin. – New York: Interscience, 1962. – 285 p.
3. Райков Д. А. Гармонический анализ на коммутативных группах с мерой Хаара и теория характеров / Д. А. Райков // Тр. Матем. ин-та им. В. А. Стеклова, – 1945. – Т. 14. – С. 3–86.
4. Хьюитт Э. Абстрактный гармонический анализ. Т. 1.: Структура топологических групп. Теория интегрирования. Представления групп. / Э. Хьюитт, К. Росс. – Москва: Мир, 1975. – 656 с.
5. Хьюитт Э., Росс К. Абстрактный гармонический анализ. Т. 2.: Структура и анализ компактных групп. Анализ на локально компактных абелевых группах / Э. Хьюитт, К. Росс. – Москва: Мир, 1975. – 900 с.
6. Reiter H. Classical Harmonic Analysis and Locally Compact Groups. / H. Reiter, J. D. Stegeman – Oxford: Clarendon press, 2000. – 327 p.
7. Вейль А. Интегрирование в топологических группах и его применения / А. Вейль; перевод с французского. – Москва: ИЛ, 1950. – 224 с.
8. Гельфанд И. М. Неприводимые унитарные представления локально бикомпактных групп / И. М. Гельфанд, Д. А. Райков // Матем. сб. – 1943. – т. 13(55), № 2-3 – С. 301–316.
9. Петер Ф. О полноте примитивных представлений компактной непрерывной группы / Ф. Петер, Г. Вейль // УМН. – 1936. – № 2. – С. 144–160.
10. Понtryгин Л. С. Линейные представления топологических групп / Л. С. Понtryгин // УМН. – 1936. – № 2. – С. 121–143.
11. Pontrjagin L. Linear representations of compact topological groups / L. Pontrjagin // Матем. сб. – 1936. – Т. 1(43), № 3. – С. 267–272.

12. Гуарий В. П. Групповые методы коммутативного гармонического анализа, Коммутативный гармонический анализ – 2 / В. П. Гуарий // Итоги науки и техн. Сер. Соврем. пробл. мат. Фунд. напр. – 1988. – Т. 25. – С. 4–303.
13. Заставный В. П. Неравенства для положительно определенных функций / В. П. Заставный // Матем. Заметки. – 2020. – Т. 108, № 6. – С. 823–836.

УДК 51.8; 519.66; 517.5

## АЛГОРИТМЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ МАГИЧЕСКИХ КВАДРАТОВ

**Иванов А.Ю.**, канд. физ.-мат. наук,  
**Мельник А.-В.В.**, канд. техн. наук

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*o.ivanov@donnu.ru*

Магические квадраты – матрицы, заполняемые числами от 1 до  $n^2$  так, что их суммы в каждой строке, столбце, а также по главной и побочной диагоналям равны между собой – являются одним из древнейших математических объектов исследования. В течении более чем 4000 лет изучением их свойств и способов построения занималось большое число магов, астрологов, математиков-любителей и профессионалов [1].

В рамках развития математической теории магических квадратов естественно рассматривать следующие направления исследований: вычисление количества различных магических квадратов заданного порядка, а также методы построения матриц данного типа.

Легко заметить, что классических магических квадратов порядка 2 не существует, а порядка 3 – единственный (с точностью до поворотов и отражений) [2]. Переходя к большим размерностям при подсчете количества различных классических магических квадратов приходится сталкиваться со значительными трудностями вычислительного характера, и если при  $n = 4$  и  $n = 5$  удалось получить точные результаты [3,4], то уже при  $n = 6$  применяемые подходы, близкие по своей природе к полному перебору, преодолеть  $36!$  вариантов возможных квадратов порядка 6 на текущий момент проблематично. Дальнейшее исследование количества магических квадратов порядка больше 5 связано с применением метода Монте Карло. Подобный подход дает статистическую оценку, так, например, в 1998 г. К. Пинн и Ц. Вейцерковски показали, что различных магических квадратов порядка 6 –  $(0.17745 \pm 0.00016) \times 10^{20}$  [5].

Исследования вопросов, связанных с построением алгоритмов конструирования магических квадратов, показали, что следует разделять магические квадраты по четности их порядка. Так, для квадратов нечетного порядка известны следующие алгоритмы конструирования:

индийский (или сиамский) метод, метод террас, метод Москопула (в работе [1] Чебракову Ю.В. удалось показать, что все эти три метода являются частными случаями линейного функционального метода), метод альфила, метод Делаира (так называемые квазилинейные методы), метод окаймленных квадратов, метод применения обратимых квадратов, метод составных квадратов. Для квадратов четного порядка также разработано несколько алгоритмов построения: метод квадратных рамок, метод Рауз-Болла, метод латинских квадратов, алгоритм Френикля. Подробно с конструкциями данных методов можно познакомиться в монографиях [2, 6]. Важно отметить, что все известные алгоритмы построения позволяют конструировать лишь незначительное (относительно общего количества квадратов заданного порядка) число различных магических квадратов, поэтому новые алгоритмы по-прежнему представляют значительный интерес в плане развития математической теории магических квадратов.

Авторам удалось обобщить алгоритм построения полумагических квадратов произвольного нечетного порядка, обоснованный в работе [7], на случай квадратов четно-нечетного порядка, т.е. для порядков вида  $n = 4k + 2$ .

Следует отметить, что магический квадрат отличается от полумагического дополнительными условиями на главную и побочную диагонали. Таким образом, конструкция алгоритма, построенного в [7], позволяет рассчитывать на получение нового метода конструирования магических квадратов при дальнейших исследованиях в данной тематике.

### Список литературы

1. Чебраков Ю. В. Теория магических матриц / Ю. В. Чебраков. – СПб.: Изд-во «ВВМ», 2010. – 280 с.
2. Постников М. М. Магические квадраты/ М. М. Постников. – Москва: Наука, 1964 – 84 с.
3. Ollerenshaw K. Magic Squares of Order Four/ K. Ollerenshaw, H. Bondi// Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Mathematical and Physical Sciences. Royal Society. – 1982 – V. 306, № 1495 – P. 443–532
4. Gardner M. Mathematical Games/ M. Gardner// Scientific American – January 1976. – V. 234 – P. 118–122
5. Pinn K. Number of magic squares from parallel tempering Monte Carlo/ K. Pinn, C. Wieczerkowski// International Journal of Modern Physics C. – 1998 – V. 09 № 04 – P. 541–546
6. Чебраков Ю. В. Магические квадраты : Теория чисел, алгебра, комбинаторный анализ / Ю.В. Чебраков. – СПб. : СПб. ГТУ, 1995. – 368 с
7. Иванов А. Ю. О построении магических квадратов / А. Ю. Иванов, А.-В. В. Мельник // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. – 2020. – № 2. – С. 61–67.

## ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИЙ ОТС В СПЕКТРАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ УСЛОВИЯМИ

*Клово А.Г.* канд. физ.-мат. наук, доц.,

*Илюхин А.А.* д-р физ.-мат. наук, проф.,

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

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог, РФ

*klovo\_ag@mail.ru*

### Введение

При решении спектральных задач разумно использовать функции обобщенных тригонометрических систем. Это функции, число линейно независимых которых равно заданному порядку и системы и соответствующего обыкновенного дифференциального уравнения. Для решения ДУ второго порядка с давних пор используются «школьные» синусы и косинусы, которые формально являются функциями обобщенных тригонометрических систем второго порядка. Для решений уравнений математической физики, содержащих пространственные производные четвертого порядка еще в работах А.Н. Крылова и других авторов, использовались функции, четвертые производные которых пропорциональны этим функциям. [1–2].

Для операторов произвольного четного порядка можно с помощью функций ОТС того же порядка построить полную ортонормированную систему (п.о.н.с.) собственных функций [3–6].

Спецификой данной работы является использование функций ОТС четвертого порядка для решения одномерных задач того же пространственного порядка с внутренними (помимо естественных внешних) дополнительными условиями. Соответственно эти условия мы будем называть условиями на внешней и внутренней границах.

**Одномерные спектральные задачи.** Рассмотрим отрезок  $[a;b]$  и оператор  $L = \frac{d^4}{dx^4}$ . Точки  $x=a$  и  $x=b$  мы будем называть внешней границей  $\Gamma$  заданной области. Также в конкретной постановке задачи на собственные значения может быть рассмотрена внутренняя граница вида  $\gamma = \{x_i\}$ , содержащая точки  $a < x_1 < x_2 < \dots < x_n < b$ . Мы будем рассматривать эти точки как точки крепления объекта исследования и считать, что в этих точках значения искомой функции равно 0.

Итак, нашей целью является поиск ненулевых решений уравнения

$$\frac{d^4 X(x)}{dx^4} = \lambda X(x) \quad (1)$$

и соответствующих этим собственным функциям  $\{X_n(x)\}$  собственных значений  $\{\lambda_n\}$ . На внешней границе  $\Gamma$  могут быть заданы различные условия, например,

$$X(x)|_{x \in \Gamma} = X'(x)|_{x \in \Gamma} = 0. \quad (2)$$

На внутренней границе  $\gamma$  мы рассматриваем условие

$$X(x)|_{x \in \gamma} = 0. \quad (3)$$

### Постановка задач.

**Базовая задача.** Такой мы будем называть задачу (1), (2) без внутренней границы. Она имеет известное решение.

**Задача А.** Это задача (1) – (3) при,  $b=l$ ,  $\gamma=\{0\}$ . То есть изучаются собственные частоты стержня  $[-l;l]$ , защемленного на концах и закрепленного в точке  $x=0$ .

**Задача В.** Это задача (1) – (3) при  $a=-l+h$ ,  $b=l+h$ ,  $|h|< l$ ,  $\gamma=\{0\}$ . То есть изучаются собственные частоты не симметричного стержня  $[-l+h;l+h]$ , защемленного на концах и закрепленного в точке  $x=0$ .

**Задача С.** Анализ влияния в задаче В параметра  $h$  на собственные частоты стержня  $[-l+h;l+h]$ .

Решение базовой задачи мы понимаем обычным образом, а вот понимание решений задач А и В требует уточнения. В этом случае под решением поставленной задачи мы будем понимать функцию  $X(x)$ , удовлетворяющую во внутренних точках рассматриваемой области уравнению (1), в точках внешней границы  $\Gamma$  условию (2), а в точках внутренней границы  $\gamma$  условию (3) и условиям непрерывности производных  $\frac{dX(x)}{dx}$ ,  $\frac{d^2X(x)}{dx^2}$ .

**Функции ОТС порядка 4.** Для решения поставленных задач нам потребуется использовать функции обобщенных тригонометрических систем (ОТС) четвертого порядка.

Обобщенной тригонометрической систему порядка 4 типа 1 (*o.m.c.[4;1]*) называются функции  $K_1(x)$ ,  $K_2(x)$ ,  $K_3(x)$ ,  $K_4(x)$ , такие что  $(K_i(x))' = K_{i+1}(x)$ ,  $K_i(0) = 0$ ,  $i = 1, 2, 3$ ,  $(K_4(x))' = K_1(x)$ ,  $K_4(0) = 1$ .

Обобщенной тригонометрической систему порядка 4 типа 2 (*o.m.c.[4;2]*) называются функции  $\Phi_1(x)$ ,  $\Phi_2(x)$ ,  $\Phi_3(x)$ ,  $\Phi_4(x)$ , такие что  $(\Phi_i(x))' = \Phi_{i+1}(x)$ ,  $\Phi_i(0) = 0$ ,  $i = 1, 2, 3$ ,  $(\Phi_4(x))' = -\Phi_1(x)$ ,  $\Phi_4(0) = 1$ .

**Применение функций ОТС в базовой задаче.** Общее решение уравнения (1) представляется в виде

$$X(x) = C_1 K_1(\sqrt[4]{\lambda} x) + C_2 K_2(\sqrt[4]{\lambda} x) + C_3 K_3(\sqrt[4]{\lambda} x) + C_4 K_4(\sqrt[4]{\lambda} x).$$

После подстановки данного выражения в граничные условия (2) мы приходим к системе линейных алгебраических уравнений относительно  $C_i$ ,  $i=1,2,3,4$ :

$$\begin{cases} -C_1K_1(\sqrt[4]{\lambda}l) + C_2K_2(\sqrt[4]{\lambda}l) - C_3K_3(\sqrt[4]{\lambda}l) + C_4K_4(\sqrt[4]{\lambda}l) = 0, \\ C_1K_2(\sqrt[4]{\lambda}l) - C_2K_3(\sqrt[4]{\lambda}l) + C_3K_4(\sqrt[4]{\lambda}l) - C_4K_1(\sqrt[4]{\lambda}l) = 0, \\ C_1K_1(\sqrt[4]{\lambda}l) + C_2K_2(\sqrt[4]{\lambda}l) + C_3K_3(\sqrt[4]{\lambda}l) + C_4K_4(\sqrt[4]{\lambda}l) = 0, \\ C_1K_2(\sqrt[4]{\lambda}l) + C_2K_3(\sqrt[4]{\lambda}l) + C_3K_4(\sqrt[4]{\lambda}l) + C_4K_1(\sqrt[4]{\lambda}l) = 0. \end{cases}$$

Для поиска ненулевых решений этой системы приравняем к 0 ее определитель и придем к уравнению

$$(K_1(\sqrt[4]{\lambda}l)K_4(\sqrt[4]{\lambda}l) - K_2(\sqrt[4]{\lambda}l)K_3(\sqrt[4]{\lambda}l))(K_1(\sqrt[4]{\lambda}l)K_2(\sqrt[4]{\lambda}l) - K_3(\sqrt[4]{\lambda}l)K_4(\sqrt[4]{\lambda}l)) = 0.$$

Корнями первого множителя  $\{\lambda_{1n}\}$  являются корни уравнения  $th\sqrt[4]{\lambda}l = tg\sqrt[4]{\lambda}l$  и соответствующие собственные функции являются нечетными и после нормирования с помощью указанных выше несобственных интегралов записываются в виде

$$\frac{1}{\sqrt{l}} \left( \sqrt{\frac{K_3(\sqrt[4]{\lambda_{1n}}l)}{K_1(\sqrt[4]{\lambda_{1n}}l)}} K_1(\sqrt[4]{\lambda_{1n}}x) - \sqrt{\frac{K_1(\sqrt[4]{\lambda_{1n}}l)}{K_3(\sqrt[4]{\lambda_{1n}}l)}} K_3(\sqrt[4]{\lambda_{1n}}x) \right).$$

Корнями второго множителя являются корни уравнения  $th\sqrt[4]{\lambda}l = -tg\sqrt[4]{\lambda}l$  и соответствующие собственные функции являются четными и после нормирования записываются в виде

$$\frac{K_4(\sqrt[4]{\lambda_{2n}}l)K_2(\sqrt[4]{\lambda_{2n}}x) - K_2(\sqrt[4]{\lambda_{2n}}l)K_4(\sqrt[4]{\lambda_{2n}}x)}{\sqrt{l(0,5 + K_1(\sqrt[4]{\lambda_{2n}}l)K_3(\sqrt[4]{\lambda_{2n}}l))}}.$$

Аналогично решаются другие поставленные задачи.

## Список литературы

1. Крылов А. Н. О расчете балок, лежащих на упругом основании. – Л., изд. АН СССР, 1931. – 154 с.
2. Клово А. Г. Некоторые вопросы колебаний кварцевых резонаторов с одним держателем. Физические основы микроэлектроники // Сб. трудов МИЭТа. – М., 1979. – С. 58-65.
3. Клово А. Г. Задачи на собственные значения для одного линейного параметризованного оператора. Деп. ВИНИТИ № 5428-80, 24 дек. 1980. – 34с.
4. Клово А. Г. Некоторые свойства обобщенных тригонометрических систем // Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности». Материалы III Международной научной конференции. – Т. 1: Физико-математические и технические науки. – Донецк, 2018. – С. 349-350.

5. Клово А. Г., Куповых Г.В., Чистякова Т.А. Обобщенные тригонометрические системы и некоторые приложения. // Материалы VI международной научно-технической конференции «Современные информационные технологии в образовании и научных исследованиях» (СИТОНИ-2019). – Донецк, 2019. – С. 53-63.
6. Клово А. Г., Куповых Г. В., Чистякова Т. А. Об одном подходе к тригонометрии. // Материалы IV-й Всероссийской научно-методической конференции с международным участием «Информационные и инновационные технологии в науке и образовании» (ИиИТО-2019). – Ростов-на-Дону, 2020. – С. 467-473.

УДК 512.573

## НЕКОТОРЫЕ УСЛОВИЯ КОНЕЧНОСТИ В ПОЛИГОНАХ НАД ПОЛУГРУППАМИ

**Кожухов И.Б.**, д-р физ.-мат. наук, проф., **Колесникова К.А.**

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

*kozhuhov\_i\_b@mail.ru, ksenya.koless@gmail.com*

**Введение.** Условия конечности – условия, которым удовлетворяет любая конечная алгебра – играют в теории важную роль. Наиболее распространёнными из условий конечности являются конечная порождённость и локальная конечность. Широко известны в теории колец и модулей условия обрыва возрастающих (или убывающих) цепей подмодулей, приводящие к понятиям нётерова (соотв., артинова) модуля.

Мы рассмотрим здесь следующие условия конечности: хопфовость, кохопфовость, канторовость и коканторовость.

Алгебра  $A$  называется *хопфовой*, если любой её инъективный эндоморфизм  $A \rightarrow A$  сюръективен, а значит, является изоморфизмом. Двойственное определение: алгебра  $A$  называется *кохопфовой*, если любой её сюръективный эндоморфизм  $A \rightarrow A$  инъективен, и, следовательно, является изоморфизмом. Нетрудно видеть, что алгебра хопфова в том и только том случае, если она не изоморфна никакой собственной фактор-алгебре, а кохопфовы в точности те алгебры, которые не изоморфны никакой собственной подалгебре.

Хорошо известна теорема Кантора – Шрёдера – Бернштейна, утверждающая, что для любых множеств  $X$  и  $Y$ , если существуют инъективные отображения  $X \rightarrow Y$  и  $Y \rightarrow X$ , то существует и взаимно однозначное отображение  $X \rightarrow Y$ . Понятно, что теорема останется справедливой, если в ней слово «инъективные» заменить словом «сюръективные». Если вместо множеств взять алгебры какой-либо сигнатуры, а вместо произвольных отображений – гомоморфизмы, то теорема, аналогичная теореме Кантора – Шрёдера – Бернштейна, может

быть неверной. Так, например, свободные группы с двумя и тремя свободными образующими вкладываются друг в друга, но не изоморфны между собой. Эти рассуждения приводят к следующим определениям.

Алгебра  $A$  называется *канторовой* (соотв., *коканторовой*), если для любой алгебры  $B$  той же сигнатуры существование инъективных (соотв., сюръективных) гомоморфизмов  $A \rightarrow B$  и  $B \rightarrow A$  влечёт изоморфизм  $A \cong B$ .

Нетрудно проверить, что алгебра  $A$  является канторовой в том и только том случае, если для любых её конгруэнций  $\sigma$  и  $\tau$  из соотношений  $\tau \subseteq \sigma$  и  $A/\sigma \cong A$  следует, что  $A/\tau \cong A$ . Далее, алгебра  $A$  коканторова, если и только если для любых её подалгебр  $A_1$  и  $A_2$  из соотношений  $A_1 \subseteq A_2$  и  $A_1 \cong A$  следует, что  $A_2 \cong A$ .

Очевидно, хопфовость любой алгебры влечёт её коканторовость, а кохопфовость – канторовость.

Напомним определение полигона. *Полигоном над полугруппой*  $S$  (см. монографию [1] и обзор [2]) называется множество, на котором действует полугруппа  $S$ , т.е. определено отображение  $X \times S \rightarrow X$ ,  $(x, s) \mapsto xs$ , удовлетворяющее условию  $x(st) = (xs)t$  для всех  $x \in X$ ,  $s, t \in S$ . Полигон является алгебраической моделью автомата; при этом  $X$  – множество состояний, а  $S$  – полугруппа входных воздействий (см. [3]). Полигон называется *унитарным*, если полугруппа  $S$  имеет единицу (обозначим её через  $e$ ) и  $xe = x$  для всех  $x \in X$ .

Прямое произведение алгебр  $A_i$  ( $i \in I$ ) одной сигнатуры – это прямое произведение  $\prod_{i \in I} A_i$  множеств  $A_i$  с покомпонентными операциями. Двойственным к этому понятию является понятие копроизведения. В случае полигонов копроизведение  $\coprod_{i \in I} A_i$  – это дизъюнктное объединение полигонов.

Пусть  $G$  – группа,  $H$  – её подгруппа (необязательно нормальная). Через  $G/H$  обозначим множество всех правых смежных классов  $Hg$ , где  $g \in G$ . Множество  $G/H$  будет являться полигоном над группой  $G$ , если умножение на элементы из  $G$  определить следующим образом:  $Hg \cdot g' = Hgg'$ . Нетрудно доказать, что  $G/H$  – это общий вид унитарных циклических полигонов над группой  $G$ , а произвольные унитарные полигоны над группой  $G$  – это в точности копроизведения  $\coprod_{i \in I} (G/H_i)$ . Неунитарные полигоны получаются из унитарных несложной конструкцией, построенной в теореме 4 работы [4].

Необходимые и достаточные условия хопфовости и кохопфовости унитарных полигонов над группами были получены в работе [5]. В работе [6] было доказано, что всякий унитарный полигон над группой является канторовым. В работе [7] найдены необходимые и достаточные условия

канторовости полигона над конечной полурешёткой, у которого все компоненты связности конечны. Необходимые и достаточные условия коканторовости произвольного унитарного полигона над группой авторам неизвестны, а известны лишь для унитарного циклического полигона. Что касается неунитарных полигонов над группами, Что касается условий (ко)хопфовости и (ко)канторовости неунитарных полигонов над группами, то здесь имеются лишь эпизодические результаты.

Интересно выяснить, как свойства (ко)канторовость и (ко)хопфовость ведут себя по отношению к таким операциям над алгебрами, как взятие подалгебры, гомоморфного образа (фактор-алгебры), произведения, копроизведения. Мы будем исследовать эти вопросы для полигонов над полугруппами. Результаты приведём в виде двух таблиц. В первой из них содержатся результаты для полигонов над произвольными полугруппами, во второй – для унитарных полигонов над группой. Ответ «да» в клетке таблицы означает, что авторы располагают доказательством того, что данное свойство всегда выполняется, а «нет» означает, что у авторов есть пример полигона, для которого утверждение неверно. Таким образом, «да» – это «обязательно будет», а «нет» – «может не быть». Понятно, что если в какой-либо клеточке первой таблицы написано «да», то в соответствующей клеточке второй таблицы также будет написано «да», а если во второй таблице «нет», то в соответствующей клеточке первой таблицы будет «нет». Пустые клетки в таблицах означают, что ответ авторам неизвестен.

Таблица 1  
Полигоны над произвольными полугруппами

	подалгебра $B \subseteq A$	фактор- алгебра $A / \rho$	прямое произведение $A \times B$	копроизведение $A \sqcup B$
Хопфовость	да	нет	нет	
Кохопфовость	нет	нет	нет	
Канторовость	нет	нет		
Коканторовость				

Таблица 2  
Унитарные полигоны над группами

	подалгебра $B \subseteq A$	фактор- алгебра $A / \rho$	прямое произведение $A \times B$	копроизведение $A \sqcup B$
хопфовость	да	нет	нет	Да
кохопфовость	да	нет	нет	Да
канторовость	да	да	да	Да
коканторовость				

## Список литературы

1. Kilp M., Knauer U., Mikhalev A. V. Monoids, acts and categories: N.Y. – Berlin, W. de Gruyter, 2000. – XVII + 529 pp.
2. Кожухов И. Б., Михалёв А. В. Полигоны над полугруппами. Фундаментальная и прикладная математика, 2020. – Т. 23, вып. 3. – С. 141-199.
3. Плоткин Б. И., Гринглаз Л. Я., Гварамия А. А. Элементы алгебраической теории автоматов. – М., Высшая школа, 1994. – 192 с.
4. Максимовский М. Ю. О полигонах над полурешётками. Фундаментальная и прикладная математика, 2008. – Т. 14, вып. 7. – С. 151-156.
5. Кожухов И. Б., Колесникова К. А. О хопфовости и кохопфовости полигонов над группами. Фундаментальная и прикладная математика, 2020. – Т. 23, вып. 3. – С. 131-139.
6. Сотов А. С. Теорема Кантора – Бернштейна для полигонов над группами // Материалы VI Межд. конф. СИТОНИ-2019. – Изд-во ДонНТУ, Донецк, 2019. – С. 120–123.
7. Кожухов И. Б., Сотов А. С. Об условиях канторовости полигонов над полурешёткой. – Матем. заметки, 2021. – Т. 109, вып. 4. – С. 581–589.

УДК 517.9

## О ПОДЧИНЕННОСТИ МИНИМАЛЬНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛИНОМОВ ОТ ДВУХ ПЕРЕМЕННЫХ В АНИЗОТРОПНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ СОБОЛЕВА

*Лиманский Д.В.*, канд. физ.-мат. наук, доц., с.н.с.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,  
*d.limanskiy@donnu.ru*

Пусть  $l = (l_1, \dots, l_n) \in \mathbb{N}^n$ ,  $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n) \in \mathbb{Z}_+^n$ ,  $|\alpha: l| = \frac{\alpha_1}{l_1} + \dots + \frac{\alpha_n}{l_n}$ .

Рассмотрим в  $L^\infty(\mathbb{R}^n)$  дифференциальный полином вида

$$P(D) = \sum_{|\alpha:l| \leq 1} a_\alpha D^\alpha, \quad a_\alpha \in \mathbb{C}. \quad (1)$$

Обозначим через  $P^l(\xi) = \sum_{|\alpha:l|=1} a_\alpha \xi^\alpha$  главный  $l$  – квазиоднородный символ оператора  $P(D)$ ,  $D_j = -i \frac{\partial}{\partial x_j}$ ,  $D = (D_1, \dots, D_n)$ ,  $D^\alpha = D_1^{\alpha_1} \dots D_n^{\alpha_n}$ .

Напомним [1], что дифференциальный оператор  $P(D)$  вида (1) называется  $l$  – квазиэллиптическим, если  $P^l(\xi) \neq 0$  для всех  $\xi \in \mathbb{R}^n \setminus \{0\}$ , и слабо коэрцитивным в анизотропном пространстве Соболева  $W_p^{0,l}(\mathbb{R}^n)$ ,  $p \in [1; \infty]$ , если для всех  $|\alpha: l| < 1$  справедливы априорные оценки

$$\|D^\alpha f\|_{L^p(\mathbb{R}^n)} \leq C_1 \|P(D)f\|_{L^p(\mathbb{R}^n)} + C_2 \|f\|_{L^p(\mathbb{R}^n)}, \quad f \in C_0^\infty(\mathbb{R}^n).$$

Известно [1], что -квазиэллиптический оператор (1) слабо коэрцитивен в  $W_p^{0,l}(\mathbb{R}^n)$   $\forall p \in [1; \infty]$ . При  $n = 2$  не существует неквазиэллиптических слабо коэрцитивных в  $W_\infty^{0,l}(\mathbb{R}^2)$  операторов, если  $l_2$  не делит  $l_1$ .

**Теорема [2].** Пусть  $l = (km, k) \in \mathbb{N}^2$  и  $P(D)$  – оператор вида (1).

1) Если оператор  $P(D)$  слабо коэрцитивен в анизотропном пространстве  $W_\infty^{0,1}(\mathbb{R}^2)$ , но не квазиэллиптичен, то он имеет вид

$$P(D) = S(D_1)R(D) + Q(D), \quad (2)$$

где  $\deg S = m$ ,  $S(\xi_1) \neq 0 \quad \forall \xi_1 \in \mathbb{R}$ ,  $R(D)$  —  $l'$ -квазиэллиптический оператор,  $l' = ((k-1)m, k-1)$  и  $Q(D)$  — оператор вида  $\sum_{|\alpha|: l' < 1} b_\alpha D^\alpha$ .

2) Обратно, всякий оператор  $P(D)$  вида (2) слабо коэрцитивен в  $W_p^{0,l}(\mathbb{R}^2)$  для всех  $p \in [1; \infty]$ .

### Список литературы

1. Лиманский Д. В. Эллиптические и слабо коэрцитивные системы операторов в пространствах Соболева / Д. В. Лиманский, М. М. Маламуд // Матем. сборник. – 2008. – Т. 199. – № 11. – С. 75–112.
2. Лиманский Д. В. О представлении минимальных дифференциальных полиномов от двух переменных, слабо коэрцитивных в анизотропных пространствах Соболева / Д. В. Лиманский // Труды ИПММ. – 2020. – Т. 34. – С. 77-84.

УДК 517.988.28

## О ФУНКЦИЯХ С НУЛЕВЫМИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ ПО РАВНОСТОРОННИМ ТРЕУГОЛЬНИКАМ

*Машаров П.А.*, канд. физ.-мат. наук,  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*p.masharov@donnu.ru*

**Введение и постановка задачи.** В работе  $\mathbb{R}^n$  обозначает вещественное евклидово пространство размерности  $n \geq 2$  со стандартной евклидовой нормой  $|\cdot|$ ,  $M(n)$  – группу движений  $\mathbb{R}^n$ . В открытом множестве  $B \subset \mathbb{R}^n$  компактное множество  $A \subset \mathbb{R}^n$  называется множеством Помпейю если всякая локально суммируемая функция  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{C}$ , для которой выполняются условия

$$\int_{\lambda A} f(x) dx = 0 \quad (1)$$

при всех  $\lambda \in M(n)$  таких, что  $\lambda A \subset B$ , равна нулю почти всюду. Совокупность всех множеств Помпейю в  $B$  будем обозначать  $\mathcal{P}(B)$ . Классическая проблема Помпейю состоит в описании  $\mathcal{P}(\mathbb{R}^n)$ . Она была поставлена румынским математиком Помпейю в 1929 году и в настоящее время хорошо изучена (см. обзоры [1-2] с обширной библиографией), но не решена полностью. В [3] было получено, что если  $A \in \mathcal{P}(\mathbb{R}^n)$ , то  $A \in \mathcal{P}(\mathbb{B}_R)$ , где  $\mathbb{B}_R = \{x \in \mathbb{R}^n: |x| < R\}$ ,  $R \geq 2r^*(A)$ ,  $r^*(A) = \inf\{R > 0: \lambda A \subset \mathbb{B}_R, \lambda \in M(n)\}$ . В связи с этим, в [3] поставлена проблема.

**Проблема.** Для данного компактного  $A \subset \mathbb{R}^n$  найти значение

$$\mathcal{R}(A) = \inf\{R > 0 : A \in \mathcal{P}(\mathbb{B}_R)\},$$

которое естественно называть радиусом Помпейю множества  $A$ .

Кроме рассмотренного, можно рассматривать случаи, когда размерность множества  $A$  равна  $m \leq n$ . Тогда интеграл в (1) понимается как -кратный, а условие локальной суммируемости функции  $f$  естественно заменить на условие непрерывности. В таком случае будем рассматривать совокупность  $\mathcal{P}_{m,n}(\mathbb{B}_R^n)$  всех -мерных множеств Помпейю в  $\mathbb{B}_R^n$ . Аналогично сформулированной, возникает

**Проблема.** Для данного  $-$ мерного компактного  $A \subset \mathbb{R}^n$  найти значение

$$\mathcal{R}_{m,n}(A) = \inf\{R > 0 : A \in \mathcal{P}_{m,n}(\mathbb{B}_R^n)\}.$$

Достаточно полное описание множеств, для которых решена указанная проблема или получены оценки искомой величины, уточняющие ранее известные, содержится в [3-5]. В данной работе для каждого  $n \geq 3$  получены оценки величины  $\mathcal{R}_{2,n}(T)$ , где

$$T = \left\{ (x_1, x_2, 0, \dots, 0) : 0 \leq x_1 \leq \frac{\sqrt{3}}{2}, |x_2| \leq \frac{x_1}{\sqrt{3}} \right\}$$

представляет из себя плоский равносторонний треугольник со стороной 1. Основным результатом работы является такое утверждение.

**Теорема.** Для любого натурального  $n \geq 3$  имеет место неравенство

$$\frac{13\sqrt{3}}{36} \leq \mathcal{R}_{2,n}(T) \leq \frac{\sqrt{7}}{4}.$$

Для доказательства сформулированного утверждения были подобраны дифференциальные операторы, благодаря которым двойные интегралы по треугольнику от результатов действия этих операторов на достаточно гладкую функцию удалось свести к интегралу по стороне и значению функции в вершинах треугольника.

Были изучены различные положения треугольника внутри трехмерного шара, найдены экстремальные расстояния от центра шара до вершин, сторон, плоскости треугольника. Решение системы определенных неравенств позволило оценить снизу радиус Помпейю. Методами, традиционными для решения подобных проблем, была найдена оценка сверху искомой величины.

**Выводы.** В работе получены оценки величины  $\mathcal{R}_{2,n}(T)$ . Для сравнения заметим, что  $\mathcal{R}_{2,2}(T) = \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0,866$ , а полученные в работе границы оценки  $\frac{13\sqrt{3}}{36} \approx 0,625$ ,  $\frac{\sqrt{7}}{4} \approx 0,661$ . Результаты, подобные рассмотренным в работе, имеют приложения в комплексном анализе, теории функций, сохраняющих меру, в теории аппроксимации. Данный результат поможет получить оценки экстремального радиуса шара, в

котором из равенства нулю криволинейных интегралов второго рода по единичным отрезкам от непрерывной функции будет следовать равенство её нулю.

### **Список литературы.**

1. Zalcman L. A bibliographic survey of Pompeiu problem. / L. Zalcman; // Approximation by solutions of partial differential equations / ed. B. Fuglede et al. – Kluwer Acad. Publ.: 1992. – P. 185–194.
2. Zalcman L. Supplementary bibliography to 'A bibliographic survey of the Pompeiu problem'. In: Radon Transforms and Tomography / L. Zalcman // Contemp. Math. – 2001. – No 278. – P. 69–74.
3. Volchkov V. V. Integral Geometry and Convolution Equations / V. V. Volchkov. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. – 454 p.
4. Volchkov V. V. Harmonic Analysis of Mean Periodic Functions on Symmetric Spaces and the Heisenberg Group / V. V. Volchkov, Vit. V. Volchkov. – London: Springer, 2009. – 671 p.
5. Машаров П. А. Локальный вариант проблемы Помпейю для куба в многомерном пространстве / П. А. Машаров // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. – 2020. – № 2. – С. 92–103.

УДК 517.955

## **О РАЗРЕШИМОСТИ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ НЕКОТОРОГО КЛАССА УРАВНЕНИЙ СОБОЛЕВСКОГО ТИПА**

**Павлов А.Л.**, канд. физ.-мат. наук, доц.

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

*o.pavlov@donnu.ru*

**Введение.** Рассматривается задача Коши в полупространстве  $\mathbf{R}_+^{n+1}$ :

$$P_2(D_x)\partial_t^2 u + P_0(D_x)u = 0; \quad t \geq 0; \quad (1)$$

$$u|_{t=0} = g_0, \quad \partial_t u|_{t=0} = g_1, \quad (2)$$

где  $D_{x_j} = \frac{1}{i}\partial_{x_j}$ ,  $D_x = (D_{x_1}, \dots, D_{x_n})$ ,  $P_2(\sigma)$ ,  $P_0(\sigma)$  – многочлены.

Уравнение (1) является уравнением, не разрешенным относительно старшей производной по выделенной переменной. Исследование задач для таких уравнений начато С.Л. Соболевым в [1].

Будем предполагать, что уравнение (1) удовлетворяет условию:

$$P_2(\sigma)\lambda^2(\sigma) + P_0(\sigma) = 0 \Rightarrow \operatorname{Re} \lambda(\sigma) \leq \gamma. \quad (P)$$

Рассматриваемому классу уравнений принадлежат уравнения, широко используемые в приложениях, в частности:  $\Delta\partial_t^2 u + \partial_{x_3}^2 u = 0$  –

уравнение Соболева;  $(\Delta + 2\beta \partial_{x_3})\partial_t^2 \Phi + \omega_0^2(\partial_{x_1}^2 + \partial_{x_2}^2)\Phi = 0$  – уравнение динамики стратифицированной жидкости.

Имеется огромное количество работ, посвященных задачам для уравнений соболевского типа (см. [2, 3] и литературу к ним). Однако работ, в которых рассматривалось решение задачи Коши в классах растущих функций сравнительно немного (см. [4–6] и литературу к ним).

Цель исследования – **нахождение** достаточных условий существования решения задачи Коши (1), (2) в пространстве медленно растущих обобщенных функций  $S'$ .

**Основная часть.** Под решением задачи (1), (2) понимают обобщенную функцию  $u(t)$ , зависящую гладко от параметра  $t$  и удовлетворяющую (1), (2). После применения преобразования Фурье по пространственным переменным задача (1), (2) принимает вид

$$P_2(\sigma)\partial_t^2 \hat{u} + P_0(\sigma)\hat{u}(t) = 0, \quad t \geq 0, \quad (3)$$

$$u(t)|_{t=0} = \hat{g}_0, \quad \frac{du(t)}{dt}\Big|_{t=0} = \hat{g}_1, \quad (4)$$

где  $\hat{f}$  – преобразование Фурье обобщенной функции  $f$ .

В силу изоморфности рассматриваемых пространств относительно преобразования Фурье задачи (1), (2) и (3), (4) эквивалентны.

Начальные данные в (2) принадлежат подпространствам  $S'$ :

$$H_l^s = \left\{ f \in S' : \|f\|_l^s \equiv \left[ \int (1+|\sigma|^2)^s \left| F_y \left( 1+|y|^2 \right)^{\frac{l}{2}} f \right|^2 d\sigma \right]^{\frac{1}{2}} < +\infty \right\},$$

где  $F_y g$  – преобразование Фурье обобщенной функции  $g \in S'$ .

Если выполнено условие **(P)** и  $\hat{g}_0, \hat{g}_1$  – обычные функции, то решением задачи (3), (4) при каждом  $\sigma \notin N = \{\sigma \in R^n : P_2(\sigma)P_0(\sigma) = 0\}$  является функция

$$v(\sigma, t) = \eta(t)(q_1(\sigma, t)\hat{g}_0 + q_2(\sigma, t)\hat{g}_1), \quad (5)$$

где  $\eta(t) = 1$ , если  $t \geq 0$  и  $\eta(t) = 0$ , если  $t < 0$ ,  $q_j(\sigma, t)$ ,  $j = 1, 2$ , – решения уравнения (3) удовлетворяющие начальным условиям:

$$q_1(\sigma, 0) = 1, \quad \frac{dq_1}{dt}(\sigma, 0) = 0, \quad q_2(\sigma, 0) = 0, \quad \frac{dq_2}{dt}(\sigma, 0) = 1. \quad (6)$$

Задача состоит в описании начальных данных, для которых задача (3), (4) имеет решение. Оно может быть основано на описании подпространства пространства  $S'$ , в котором функции  $q_1(\sigma, t)$  и  $q_2(\sigma, t)$  являются мультиплекторами, гладко зависящими от параметра  $t$ , то есть умножение на эти функции элементов этого подпространства является непрерывным отображением этого подпространства в себя. В работе [6] этот подход реализован для уравнений вида  $P_1(D_x)\partial_t u - P_0(D_x)u = 0$ .

Главное содержание работы составляет построение решения задачи (3), (4) для начальных данных вида  $P_0^p(\sigma)P_2^q(\sigma)f$ , где показатели  $p$  и  $q$  зависят от порядка регулярности обобщенной функции  $f$ , пользуясь конструкцией (5). Это построение основано на исследовании свойств функций  $q_j(\sigma, t)$  и  $P_0^p(\sigma)P_2^q(\sigma)q_j(\sigma, t)$ ,  $j=1,2$ . Функции  $q_j(\sigma, t)$  бесконечно дифференцируемы вне множества  $N$  и их производные имеют степенные особенности в точках  $\sigma \in N$  при выполнении условия **(P)**. Эти особенности можно «погасить», умножив функции  $q_j(\sigma, t)$  на функцию, имеющую нули на множестве  $N$  достаточной кратности, например, на  $P_0^p(\sigma)P_2^q(\sigma)$ . При соответствующем выборе  $p$  и  $q$  можно обеспечить дифференциальные свойства функции  $P_0^p(\sigma)P_2^q(\sigma)q_j(\sigma, t)$ , необходимые для того, чтобы на них можно было умножать обобщенные функции заданного порядка регулярности. Это позволит строить решения задачи (3), (4) по формуле (5) для начальных данных, которые в окрестности множества  $N$  имеют указанную структуру. Преобразование Фурье по пространственным переменным дает решение задачи Коши (1), (2) для начальных данных вида  $P_0^p(D_x)P_2^q(D_x)f$ .

Ниже приведены основные результаты исследования.

**Теорема 1.** Если выполнено условие **(P)**, то для всех  $\alpha \in \mathbf{Z}_+^n$  и  $r \in \mathbf{Z}$ ,  $t \geq 0$ ,  $\sigma \in \mathbf{R}^n \setminus N$  справедливы неравенства

$$|\partial_t^r \partial^\alpha q_j(\sigma, t)| \leq C_{\alpha r} (1+t)^{|\alpha|} e^{\nu} (1+|\sigma|)^{\mu(\alpha, r)} |P_0(\sigma)|^{-|\alpha|-1} |P_2(\sigma)|^{-\frac{3}{2}|\alpha|-\frac{1}{2}r-1},$$

где  $C_{\alpha r} > 0$ ,  $\mu(\alpha, r) = |\alpha| \left( m + \frac{3}{2}(m_0 + m_2) - 1 \right) + \frac{1}{2}(m_0 + m_2)r + \frac{1}{2}(m_0 + 3m_2)$ .

**Теорема 2.** Если выполнено условие **(P)**,  $\hat{g}_j \in H_s^l$ ,  $j=0,1,l$ ,  $s \in \mathbf{R}$  и существует  $\varepsilon > 0$  такое, что  $\mu_{2\varepsilon}(\sigma)\hat{g}_j = P_0^p(\sigma)P_2^q(\sigma)\hat{f}_j$ ,  $\hat{f}_j \in H_{\tilde{s}}^{\tilde{l}}$ ,  $p > 2\nu(\tilde{l}) + \frac{1}{2}$ ,  $q > \frac{5}{2}\nu(\tilde{l}) + \frac{1}{2}r + 1$ , то семейства обобщенных функций  $q_j(\sigma, t)\hat{g}_{j-1}$ ,  $j=1,2$ , принадлежат пространству  $C_{\nu(l')}^r(\overline{\mathbf{R}}_+, H_{s'}^{l'})$ , где  $l' = \min\{\tilde{l}, \tilde{l}'\}$ ,  $s' = \min\{s_1, s_2\}$ , функция  $\nu(t) = q_l(\sigma, t)\hat{g}_0 + q_2(\sigma, t)\hat{g}_1$  является решением задачи Коши (3), (4) и справедливо неравенство

$$\|\nu(t)\|_{C_{\nu(l')}^r(\overline{\mathbf{R}}_+, H_{s'}^{l'})} \leq c_3(\varepsilon) \sum_{j=0}^1 \left( \|(1 - \mu_\varepsilon(\sigma)\hat{g}_j)\|_s^l + \|\hat{f}_j\|_{\tilde{s}}^{\tilde{l}} \right).$$

**Теорема 3.** Если выполнено условие **(P)** и  $g_i = P_0^p(D_x)P_2^q(D_x)f_i$ ,  $f_i \in H_{\tilde{s}}^{\tilde{l}}$ ,  $p > 2\nu(\tilde{l}) + \frac{1}{2}$ ,  $q > \frac{5}{2}\nu(\tilde{l}) + \frac{1}{2}r + 1$ , то существует решение задачи (1), (2) принадлежащее пространству  $C_{\nu(l')}^r(\overline{\mathbf{R}}_+, H_{s'}^{\tilde{l}})$ , где  $s' = s - \mu(p, q, \tilde{l}, r)$ .

**Заключение.** Получены достаточные условий существования решения задачи Коши (1), (2) в классах растущих функций.

### Список литературы

1. Соболев С. Л. Об одной новой задаче математической физики / С. Л. Соболев // Изв. АН СССР. Сер. мат. – 1954. – Т. 18, № 1. – С. 3–50.
2. Демиденко Г. В. Уравнения и системы, не разрешенные относительно старшей производной / Г. В. Демиденко, С. В. Успенский.– Новосибирск:Науч. кн.,1998. – 564 с.
3. Свешников А. Г. Линейные и нелинейные уравнения соболевского типа / А. Г. Свешников, А. Б. Альшин, и др..– М.: Физматлит, 2007. – 512 с.
4. Павлов А. Л. Задача Коши для уравнения типа Соболева-Гальперна в пространствах функций степенного роста/ А. Л. Павлов // Мат. сб. – 1993. – Т. 184, № 11. – С. 3–20
5. Павлов А. Л. Задача Коши для одного уравнения соболевского типа в классе обобщенных функций медленного роста / А. Л. Павлов // Мат. труды. – 2018. – Т. 21, N 1. – С. 125–154.
6. Павлов А. Л. Существование решения задачи Коши для некоторого класса уравнений соболевского типа в классе обобщенных функций медленного роста / А. Л. Павлов // Сиб. мат. журнал. – 2019. – Т. 60, № 4. – С. 824–844.

УДК 517.972

## ВАРИАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ НА МНОЖЕСТВАХ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ РАЗЛИЧНОГО ТИПА И ВЫРОЖДЕНИЯМИ В ПЕРЕМЕННЫХ ОБЛАСТЯХ

*Рудакова О.А.*, канд. физ.-мат. наук  
ГОУ ВПО «Академия гражданской защиты», г. Донецк, ДНР  
*olga.a.rudakova@gmail.com*

**Введение.** В настоящей заметке представлен обзор результатов относительно вопросов сходимости решений вариационных задач на множествах с различными ограничениями для функционалов, в том числе интегрального вида, определённых на переменных весовых пространствах Соболева. Приведенные результаты подробно изложены в работах [1–4], в которых исследованы проблемы асимптотического поведения последовательности решений вариационных задач с некоторыми поточечными ограничениями, в том числе интегрального типа, для функционалов, определенных на весовых пространствах Соболева, связанных с последовательностью  $n$ -мерных областей.

**Основная часть.** В работах [1–2] рассматриваемые функционалы состоят из двух компонент. Одна из них – интегральный функционал

$J_s : \tilde{W}_0^{1,p}(\nu, \Omega_s) \rightarrow R$ , где  $\{\Omega_s\}$  – последовательность областей в  $R^n$  ( $n \geq 2$ ), содержащихся в области  $\Omega$ ,  $p > 1$ ,  $\nu : \Omega \rightarrow R$ , с интегрантами, удовлетворяющими определенным условиям роста и коэрцитивности, содержащими весовую функцию и некоторую, вообще говоря, неограниченную последовательность неотрицательных слагаемых. Другая компонента – некоторый слабо непрерывный функционал на том же весовом соболевском пространстве  $\tilde{W}_0^{1,p}(\nu, \Omega_s)$ . Для таких функционалов установлены достаточные условия сходимости минимизантов и минимальных значений вариационных задач с некоторыми неявно заданными поточечными ограничениями соответственно к минимизанту и минимальному значению предельной вариационной задачи с поточечным ограничением, определяемым той же функцией, что и исходные ограничения. При этом показано, что соответствующие множества ограничений представимы в виде множеств с явными односторонними независящими от параметра, но вообще говоря, нерегулярными препятствиями.

В работе [3] аналогичный вопрос о сходимости точек минимума и соответствующих минимальных значений изучен для функционалов такой же структуры. Однако, для таких функционалов рассмотрены вариационные задачи с ограничениями соответствующего интегрального типа

$$\int_{\Omega_s} \varphi(x, u) dx \leq 1, \quad \varphi : \Omega \times R \rightarrow R.$$

Основной результат работы содержит достаточные условия сходимости минимизантов и минимальных значений вариационных задач к минимизанту и минимальному значению предельной вариационной задачи, интегральное ограничение которой представимо в следующем виде

$$\int_{\Omega} \sigma \varphi(x, u) dx \leq 1,$$

где функция  $\sigma$  представляет собой слабый предел в пространстве  $L^2(\Omega)$  последовательности характеристических функций множеств  $\Omega_s$ .

Основным объектом исследования в статье [4] выступает последовательность выпуклых интегральных функционалов  $J_s : \tilde{W}_0^{1,p}(\nu, \Omega_s) \rightarrow R$  и последовательность слабо полунепрерывных снизу функционалов  $G_s : \tilde{W}_0^{1,p}(\nu, \Omega_s) \rightarrow R$ , содержащих в своих основных условиях весовую функцию и неограниченную последовательность добавочных членов.

В работе рассмотрена последовательность слабо замкнутых множеств

$$V_s = \left\{ u \in \tilde{W}_0^{1,p}(\nu, \Omega_s) : u \geq \Phi_s(u) \text{ i.â. } \hat{\Omega}_s \right\}, \quad s \in N,$$

где  $\Phi_s$  – отображение пространства  $\tilde{W}_0^{1,p}(\nu, \Omega_s)$  во множество функций, определенных на множестве  $\Omega_s$ .

В статье формулируются условия, обеспечивающие определенную сходимость минимизантов и минимальных значений функционалов  $J_s + G_s$  на множествах  $V_s$  соответственно к минимизанту и минимальному значению некоторого функционала на предельном множестве

$$V = \left\{ u \in W^{1,p}(\nu, \Omega) : u \geq \Phi(u) \text{ i.â. } \hat{\Omega} \right\},$$

где  $\Phi$  – отображение пространства  $W^{1,p}(\nu, \Omega)$  во множество всех функций, определенных на множестве  $\Omega$ .

Среди установленных условий сходимости, представленных в работах [1–4], отметим сильную связанность последовательности весовых соболевских пространств  $\tilde{W}_0^{1,p}(\nu, \Omega_s)$  с «предельным» весовым пространством Соболева  $W^{1,p}(\nu, \Omega)$ ; условие «исчерпывания» области  $\Omega$  областями  $\Omega_s$ ;  $\Gamma$ -сходимость последовательности функционалов  $\{J_s\}$  к некоторому функционалу  $J: W^{1,p}(\nu, \Omega) \rightarrow R$ ; определенную сходимость последовательности функционалов  $\{G_s\}$  к некоторому функционалу  $G: W^{1,p}(\nu, \Omega) \rightarrow R$ ; а также выполнение условий, описывающих свойства отображений  $\Phi_s$ ,  $s \in N$ , и устанавливающих их связь с отображением  $\Phi$ .

**Заключение.** В заключение отметим, что в дальнейшем представляет интерес установить соответствующие достаточные условия сходимости решений вариационных задач для функционалов с вырождениями в переменных областях, например, в случае множеств, содержащих двусторонние поточечные ограничения или ограничения интегрального типа более сложной структуры, чем заявленные ранее.

## Список литературы

1. Kovalevsky A. A., Rudakova O. A. Variational problems with pointwise constraints and degeneration in variable domains // Differ. Equ. – 2009. – V. 1, No 4. – P. 517–559.
2. Rudakova O. A. Variational problems with degeneration and nonregular unilateral obstacles in variable domains // Humboldt-Kolleg for research fellows and awardees «Humboldt Cosmos: Science and Society» (HCS<sup>2</sup> –Kiev 2009), Kiev, November 19-22, 2009, book af abstracts. – P. 40.
3. Rudakova O. On the varying variational problems with integral constraints and degeneration // International Conference «Nonlinear Partial Differential Equations» Donetsk, September 9-14, 2013, book of abrsatcts. – P. 57.
4. Рудакова О. А. О сходимости решений вариационных задач с вырождениями на множествах с односторонними поточечно функциональными ограничениями в переменных областях // Труды ИПММ. – 2019. – Т. 33. – С. 92-100.

# *Прикладная математика, прикладная информатика и теория систем управления*

УДК 004.9

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРТАТИВНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПАМЯТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ВНИМАНИЯ**

*Авдошина Е.В.*, канд. физ.-мат. наук, доц., *Сушко С.А.*  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*kf.tuvm@donnu.ru*

**Введение.** Современное развитие информационного общества позволяет человеку облегчить свою повседневную жизнь, использовать достижения научно-технического прогресса для работы с информацией. Огромное количество устройств, которые способствуют изменению жизни человека в лучшую сторону, при этом могут приводить к замедлению работы мозга, нарушению нейронных связей. Например, человек уже не хочет складывать и умножать «в уме», а пользуется постоянно калькулятором. Поэтому возникает необходимость тренировать мозг – один из главных органов человека.

**Основная часть.** Мозг человека работает как очень сложный механизм. Иногда он начинает давать сбои и отказывается запоминать важную информацию, те или иные жизненные события, факты или даты. Обычно такие проблемы проявляются с возрастом, с появлением заболеваний. В этом случае для улучшения памяти и концентрации внимания чаще всего прибегают к медикаментозным и народным методам лечения, но существуют и другие подходы к решению проблемы.

Целевые функции мозга связаны с гносеологическим и оптимизационным алгоритмами. Гносеологический алгоритм представляет собой постоянный поиск информации, накопление знаний. Оптимизационный алгоритм предназначен для анализа накопленных знаний и принятия оптимального решения.

Как известно выполнение арифметических вычислений в уме активируются лобные доли головного мозга, которые ответственны и за память. Поэтому разработка портативного устройства, запрограммированного на выполнение математических действий представляет интерес.

Проведение простейших арифметических операций скорее всего не будет сильно задействовать целевые функции мозга, поэтому для усложнения задачи был разработан алгоритм, который использует

бинарную систему исчисления. Такая система исчисления представляет любой число в виде 0 и 1, поэтому для перевода числа в комфортную для человека десятичную систему исчисления необходимо производить ряд арифметических действий. Еще большим усложнением задачи, представленной в алгоритме, является перевод из двоичной системы исчисления в двоичную систему даты и времени.

Моделирование алгоритма и создание устройства состояло из нескольких этапов. Первый этап разработки – формирование целей. Целью является повышение эффективности работы памяти концентрации и внимания с использованием современных информационных технологий. Второй этап – выбор элементной базы для портативного устройства и подбор комплектующих.

Третий этап включает в себя разработку собственно основных частей алгоритма устройства.

В работе проведено моделирование устройства в виде часов [1], которое реализует разработанный алгоритм. Схема портативного устройства приведена на рисунке.

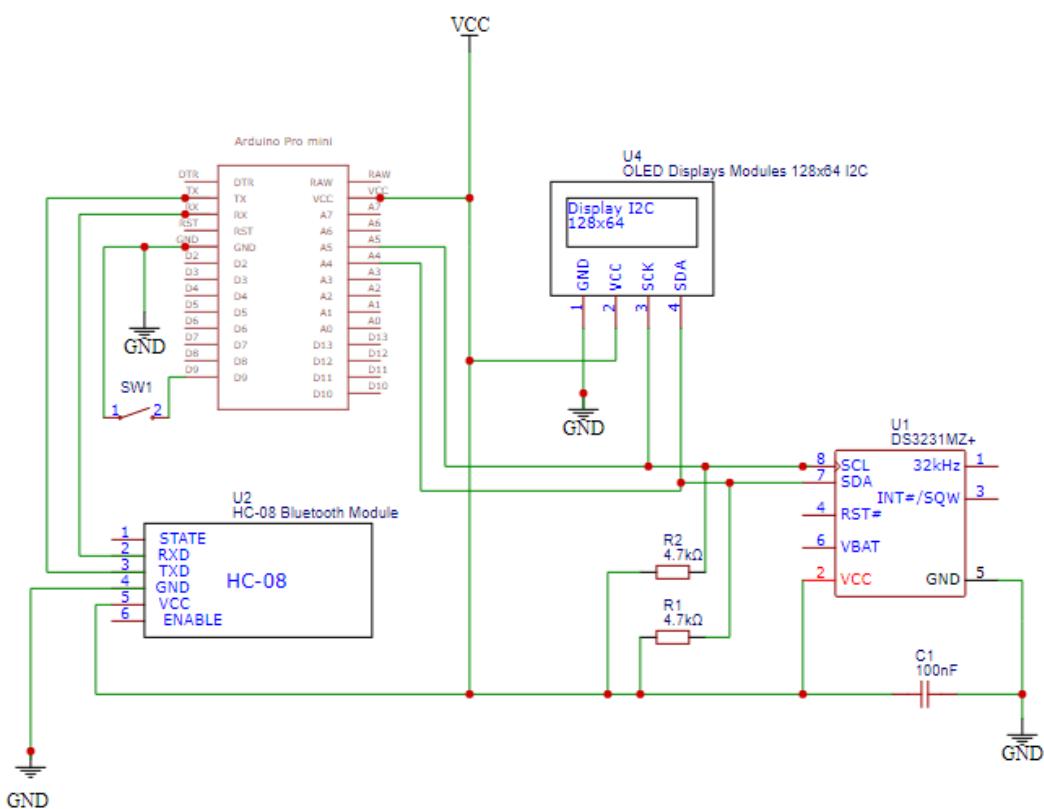


Рис. Схема портативного устройства

Элементы, приведенные на схеме имеют следующую функциональность:

HC-08 Bluetooth Module – реализует связь устройства со смартфоном для выполнения настроек;

Oled Display 128x64 – предназначен для вывода информации;

DS3231M – микросхема часов реального времени, предназначены

для отсчета времени в «реальных» единицах (часы, минуты, секунды и т.д.);

Arduino Pro mini со встроенным микроконтроллером ATmega 328p – для управления вышеперечисленными модулями согласно написанному алгоритму [2].

Для программной реализации алгоритма [3] качестве основного языка программирования выбран язык C++, для которого в свободном доступе есть стандартные библиотеки для контроллеров Arduino. Дополнительно проведено изучение вопросов сбора и передачи параметром с портативного устройства [4].

Этап разработки мобильного приложения для операционной системы Android включает в себя: синхронизацию данных с портативного устройства и смартфона, а также его настройку [5]. Разработка мобильного Android приложения проведена с использованием вспомогательного языка программирования Java с использованием фреймворка Flutter. Этот фреймворк позволяет реализовать качественный динамичный интерфейс на смартфоне, а также обеспечить связь с портативным устройством. Преимуществом Flutter является то, что в основном все элементы работы с интерфейсом создаются с помощью виджетов, которые в свою очередь дают обширные возможности по кастомизации страницы с помощью различных параметров.

**Заключение.** Проведен подробный анализ целевых алгоритмов работы мозга человека, на их основе выбран алгоритм перевода между различными системами исчисления. Для реализации математического алгоритма на основе контроллера Arduino Pro mini разработана функциональная схема портативных часов, проведена техническая реализация и тестирование часов. Управление устройством с помощью смартфона на платформе Android позволяет выполнять необходимые настройки.

## Список литературы

1. Бурькова Е. В. Анализ проблем применения интегрированных сред проектирования микропроцессорных систем / Е. В. Бурькова // Прикладная информатика. – 2008. – № 4. – С. 77-86.
2. Вакула С. А. Работа с АЦП микроконтроллера ATmega8. – Текст: электронный / С. А. Вакула. – AVR LAB устройства на микроконтроллерах AVR, 2020. – URL: <https://avrlab.com/working-with-ADC-ATmega8> (дата обращения: 28.09.2021).
3. Карпов Д. А. Динамическое программирование в прикладных задачах специального вида / Д. А. Карпов, В. И. Струченков // Прикладная информатика. – 2020. – № 3. – С. 46-59.
4. Андреев В. В Программно-аппаратное обеспечение непрерывного мониторинга ритмов сердечно-сосудистой системы / В. В. Андреев, О. В. Сенько // Прикладная информатика. – 2017. – № 2. – С. 88-101.
5. Заметти Ф. Flutter на практике / Ф. Заметти. – М.: ДМК-Пресса, 2020. – 468 с.

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ И МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СЕТИ МОБИЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

*Авдюшина Е.В.*, канд. физ.-мат. наук, доц., *Чабак Д.А.*  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*kf.tuvm@donnu.ru*

**Введение.** Сети мобильного оператора представляют сложную систему, состоящую из множества взаимосвязанных элементов. Обнаружение отказов в сети мобильного оператора является важной частью диагностирования системы при большом количестве подключенных мобильных устройств. Актуальным является вопрос разработки модели и программного обеспечения для анализа и устранения повреждений.

**Основная часть.** Централизованное обслуживание группы абонентских устройств осуществляет базовая станция, состоящая из системного комплекса аппаратуры. Администраторы сети в момент аварии по многочисленным факторам, таким как, затраченное время и количество абонентов, которые будут временно лишены услуг мобильной связи, определяют приоритетность ремонта той или иной базовой станции.

Выделим наиболее значимые факторы. Для определения средней нагрузки на базовую станцию используется статистика количества активных абонентов за определённый промежуток времени. При расчете средней нагрузки также учитывается, что нагрузка днём больше, чем ночью, то есть изменяется в зависимости от времени суток. Также существенное влияние на этот фактор оказывают дни недели, регион расположения определённой базовой станции.

Фактором является и тип базовой станции: конечная, транзитная. Транзитная базовая станция прямым образом влияет на работу целого участка сети и некоторого количества зависимых базовых станций.

Расположение станции имеет немаловажное значение. Она может быть расположена вблизи других базовых станций в случае равномерного распределения нагрузки между станциями, или же быть отдалённой в случае установки единственной базовой станции на небольшой отдалённый населённый пункт.

Фактором доступности к базовой станции является принадлежность территории расположения, на которой расположена базовая станция и ее вид: мачта, жилое высотное строение, частная территория.

Базовая станция может обслуживать различное количество секторов. Также выделяют как фактор и тип аварии.

На основании проведенного анализа необходимо разработать системы принятия решений со следующими функциями системы:

обнаружение устройств, мониторинг сети, хранение данных мониторинга, отображение данных мониторинга, управление отказами, оповещение о событиях.

Моделирование и разработка системы принятия решений проведены на основе сети Петри с использованием нечеткого вывода [1]. Теоретические основы математического аппарата сетей Петри является хорошо разработанными и имеют формальные средства описания, предназначенные для работы с асинхронными и параллельными системами. При создании параллельных систем необходимо соблюдение условия гибкости модели и возможность выполнения строго анализа ее свойств. Моделирование в сетях Петри осуществляется на событийном уровне, то есть когда срабатывает переход: метка из выхода переходят на вход. Некоторые события могут произойти мгновенно, а некоторые разновременно, это зависит от условий системы. Преимуществом сети Петри является определение какие действия происходят в системе, какие состояния предшествовали этим действиям и какие состояния примет система после выполнения действия. Таким образом событийная модель в сетях Петри описывает поведение системы.

В нечеткой логике и системах нечеткого управления центральное место занимает нечеткий вывод. На основе использования нечетких правил продукции системы нечеткого вывода проводят преобразование значений входных переменных процесса управления в выходные переменные. Поэтому системы нечеткого вывода обязательно содержат базу правил нечетких продукции и реализовывают нечеткий вывод заключений на основе условий, представленных в форме нечетких лингвистических высказываний. Нечетким лингвистическим высказыванием для системы мобильного оператора считаются высказывания следующих видов:

- если при сканировании сети обнаружен полный или частичный отказ значимой базовой станции, то уведомить ответственное лицо с занесением в систему мониторинга соответствующего статуса;
- если при передаче данных обнаружен полный или частичный отказ значимой базовой станции, то уведомить ответственное лицо с занесением в систему мониторинга соответствующего статуса;
- если при передаче данных процент ошибки больше 5%, то занести в систему мониторинга соответствующий статус;
- если при сканировании сети соединение принято и ошибок не обнаружено, то действий не требуется.

Для решения перечисленных выше задач выделены несколько типов агентов [2].

Управляющим объектами системы является агент интерфейса, который отображает на основе данных мониторинга пользователю системой принятия решений отчеты с использованием анализа данных моделирования и выработанных ранее рекомендаций.

Функциями выработки комплекса организационно-технических мер занимается агент администрирования или управления, который направлен на устранение отказов в сети или оптимизацию ее работы на основании данных мониторинга, моделирования, а также знаний, заложенных в системе экспертами.

Формирование отчетов занимается специализированный агент, который получает данные от агентов хранения данных и поиска решения.

Агент хранения данных используется для хранения и предоставления по запросу результатов мониторинга контролируемых параметров элементов сети, учетных записей пользователей, списка объектов управления

Агент мониторинга решает задачи обнаружения: сбор и контроль значений наблюдаемых параметров элементов сети, оповещение об отклонениях наблюдаемых параметров, передача управляющих воздействий на элемент сети.

Разработанная многоагентная система представлена на рисунке.

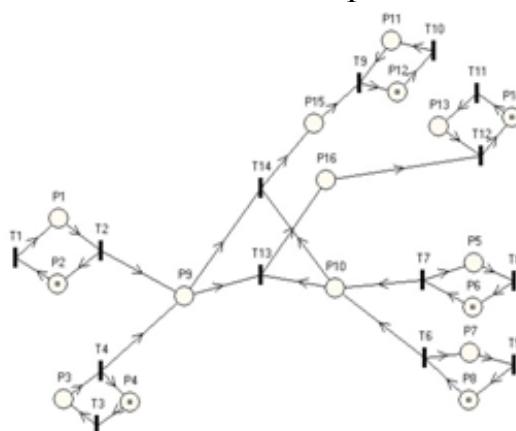


Рис. Схема многоагентной системы на основе сетей Петри

**Заключение.** В работе разработана структура системы принятия решений для корпоративной сети, которая точно подчеркивает все процессы, проходящие в сети. На основе структуры разработана схема, которая позволяет моделировать ситуации, которые реально происходят каждый день в сети мобильного оператора. Система способна давать быстрое решение пользователю, на основе полной и оперативной информации, а также давать отчет о состоянии системы в целом.

## Список литературы

1. Улезко В. В. Применимость сетей Петри для моделирования систем с множеством ресурсов / В. В. Улезко // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2016. – Т.1, № 2. – С. 14-21.
2. Мясников Д. М. Многоагентный подход к разработке распределённой системы хранения данных / Д. М. Мясников // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – №4 (38). – С. 59-62.

## РЕАЛИЗАЦИЯ СОКРЫТИЯ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШИФРОВ RC4, RC6 И КРИПТОСИСТЕМЫ НА ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ КРИВЫХ

*Алексеенко А.С., Рыбалко Л.А.*, доц.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*andre-alekseenko@rambler.ru, l.rybalko@donnu.ru*

**Введение.** Перевод большинства информационных архивов, денежных средств и коммуникаций в электронную форму создал самостоятельный тип актива – информацию. Как любая ценность, она подвергается посягательствам со стороны различных мошенников. Возникают существенные риски и в области обеспечения государственной безопасности в сфере информации, основные угрозы названы в Доктрине государственной информационной безопасности. Игнорирование возникающих проблем приводит к потере конкурентоспособности, как на государственном, так и на корпоративном уровне. Страдают от преступлений, совершаемых в информационной сфере, и граждане. Целью исследования является создание оконного приложения, реализующего шифры RC4 и RC6, системы на эллиптических кривых и их модификации.

**Основная часть.** Потоковый шифр RC4 построен на основе генератора псевдослучайных равномерно распределенных битов, параметризованного ключом пользователя. К его преимуществам относят переменный размер ключа и высокую скорость работы. При длине ключа в 128 бит RC4 обеспечивает такой же уровень безопасности, как тройной DES или IDEA [1].

Блочный параметризованный шифр RC6 (полное название RC6-w/r/b, где w – длина слова в битах, r – количество итерационных циклов шифрования, b – длина ключа в байтах) [5] основан на расширенной сети Фейстеля с использованием четырех регистров длины w бит. При  $w = 32$  исходный текст разбивается на блоки длиной 128 бит. При  $r = 20$  повторах операций шифрования алгоритм имеет самую высокую скорость среди 5 финалистов AES [2].

Криптография на эллиптических кривых основана на свойствах кривой вида  $Y^2 = aX^3 + bX + c$ . Точки эллиптической кривой над конечным полем являются группой. И для этой группы определена операция сложения. Соответственно можно представить умножение числа  $k$  на точку  $G$  как сумму  $G + G + \dots + G$  с  $k$  слагаемыми. Теперь у нас имеется сообщение  $M$ , представленное в виде целого числа. Мы можем зашифровать его, используя выражение  $C = M * G$ .

Основные плюсы: гораздо меньшая длина ключа по сравнению с «классической» асимметричной криптографией. Скорость работы

эллиптических алгоритмов гораздо выше, чем у RSA. Это объясняется как размерами поля, так и применением более близкой для компьютеров структуры бинарного конечного поля. Из-за достаточно малой длины ключа и высокой скорости работы, алгоритмы асимметричной криптографии на эллиптических кривых могут использоваться в смарт-картах и других устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами [4].

Основной минус эллиптической криптографии: для задачи дискретного логарифмирования на эллиптических кривых не существует субэкспоненциальных алгоритмов решения. Это позволяет уменьшить длину ключа и увеличить производительность. Однако если такие алгоритмы появятся, то это будет означать крах эллиптической криптографии. Эллиптические криптосистемы – это огромное количество тонкостей, которые необходимо учитывать. Начиная с правильного выбора эллиптической кривой, так как нельзя брать сингулярные эллиптические кривые, и заканчивая генерацией ключей. При массовом переходе на эллиптические криптосистемы скорее всего обязательно будет большое количество ошибок и уязвимостей, которые уже отработаны для более привычных методов [4].

Нами предложена комбинация шифров RC4, RC6 и системы на эллиптических кривых. Она заключается в следующем: ключ для алгоритма RC4 шифруется с помощью криптосистемы на эллиптических кривых, затем поток данных шифруется с помощью алгоритма RC4 и как только набирается блок нужной длины, он передается в RC6. Если последний блок исходного текста короче нужной длины, то к исходному тексту добавляются пробелы. Расшифровывание происходит в обратном порядке: сначала считывается блок и расшифровывается с помощью алгоритма RC6, а затем результат проходит через алгоритм RC4.

Поскольку используется быстрый потоковый шифр, то скорость комбинированного шифра значительно не уменьшается, однако такое сочетание сильно повышает защиту от атак типа открытый – закрытый текст.

Проведенные нами тесты на текстах объемом ~ 1 Мб показали, что скорость выполнения такой модификации по сравнению с оригинальным шифром RC6 меньше примерно на секунду, что не критично. Тест проведен на процессоре Fx8320 с 16 Гб оперативной памяти 1600 Гц.

**Заключение.** Потоковый шифр RC4 – шифр с низким требованием к памяти, что позволяет реализовать алгоритм на устройствах с ограниченной памятью. Так же алгоритм компактен в смысле размера кода, и особо удобен для процессов с побайтно-ориентированной обработкой.

Блочный шифр RC6 имеет солидный запас криптостойкости и плохо поддается большинству атак. Шифр достаточно быстрый при программной

реализации. Сходство алгоритмов шифрования и расшифровывания облегчает реализацию. При аппаратной реализации данного шифра не требуются специальные микросхемы. Считается, что он самый быстрый среди 32-битных платформ. [3]

Взлом крипtosистемы на эллиптических кривых сводится к решению задачи дискретного логарифмирования. Наиболее быстрые методы решения дискретного логарифма на эллиптической кривой имеют сложность  $O(\sqrt{q})$ , где  $q$  – количество точек эллиптической кривой. Таким образом, для обеспечения уровня стойкости в  $2^{80}$  операций необходимо чтобы  $q = 2^{160}$ . Для того, чтобы получить аналогичный уровень сложности при вычислении дискретного логарифма в конечном поле необходимо поле порядка  $q = 2^{1024}$  [4].

Следует, заметить, что поскольку мощность вычислительной техники постоянно повышается, значение  $q$  будет постоянно увеличиваться. Но так как графики функций  $O(\sqrt{q})$  и  $O(\exp(c(\log p \log \log p)^d))$ , где  $c$  и  $d$  – некоторые константы, а  $p$  – размер поля, резко отличаются друг от друга, в группе точек эллиптической кривой  $q$  будет расти намного медленнее, чем в произвольном конечном поле [4].

Возможно усовершенствование предложенной комбинации шифров путем использования, например, модификации RC4+ с улучшенным алгоритмом генерации псевдослучайного слова и использованием 3-уровневого скремблирования и модернизированного RC6, использующего шесть регистров длины  $w$  бит.

Модернизированный RC6 призван увеличить скорость работы программы, хоть и требует больших затрат ресурсов в виде памяти и приводит к усложнению алгоритма.

Из сказанного следует, что модификация не всегда приводит только к положительным изменениям, но также влечет за собой и некоторые ограничения.

## Список литературы

1. Аграновский А. В. Практическая криптография: алгоритмы и их программирование. / А. В Аграновский, Р. А. Хади. – М.: «Солон-Пресс», 2009. – 256 с.
2. Баричев С. Г. Основы современной криптографии. / С. Г. Баричев, Р. Е. Серов. – М.: «Горячая линия – Телеком», 2001. – 120 с.
3. Баранова Е. К. Информационная безопасность и защита информации 3-е изд. / Е. К. Баранова, А. В. Бабаш – М.: 2013. – 336 с.
4. Болотов А. А. Элементарное введение в эллиптическую криптографию. / А.А. Болотов, С. Б. Гашков, А. Б. Фролов. – М.: URSS(Комкнига), 2011. – 274 с.
5. Мельников В. В. Защита информации в компьютерных системах. / В. В. Мельников. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 256 с.

## ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Горбачева О.И., Григорьев С.В.*, канд. техн. наук, доц.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*o.gorbacheva@donnu.ru*

**Введение.** В настоящее время овладение современными информационно-коммуникационными технологиями – одна из ключевых компетенций любого дипломированного специалиста, в том числе учителя физической культуры. Информационная компетенция представляет собой одну из важнейших компетенций современного студента. Она сопряжена с процессом информатизации общества. Для формирования информационной компетенции необходимо: знание компьютера, представление о дидактических возможностях информационных технологий, овладение методическими основами подготовки наглядных и дидактических материалов средствами Microsoft Office; использование интернета и цифровых образовательных ресурсов; формирование мотивации к использованию информационных технологий.

**Цель работы.** Определить единство общего и профессионального становления будущего учителя физической культуры в условиях информатизации образования. Важными средствами решения данной проблемы являются применение новейших педагогических и информационных технологий в учебном процессе. Учителя физического воспитания должны владеть компьютерной техникой на высоком уровне и применять школьные компьютерные классы для изучения как теоретического, так и практического материала школьной программы по физической культуре.

**Основная часть.** Главным условием формирования информационной компетенции будущего педагога физической культуры представляет собой получение навыков работы с информационными технологиями, которое начинается у студентов в вузе и продолжается в его профессиональной деятельности.

Самой широко применяемой информационных технологий как в процессе обучения специалистов в области физической культуры и спорта, так и в последующей их деятельности рассматривается технология работы с текстовыми документами. Знания и навыки в применении этой технологии нужны для написания рефератов, статей, при составлении отчетов, научных трудов и т.д. Поскольку в настоящее время существует

предостаточно источников и методов получения информации, то для работы с текстовой информацией представляют интерес технологии сканирования и распознавания, автоматизированного текстовых документов. Злободневной является, например технология динамических презентаций, которая нужна специалистам в области физической культуры и спорта, ведущим активную деятельность, связанную с выступлениями на семинарах, с докладами на конференциях, а также для тренеров и педагогов, занимающихся обучением. Также актуально использование и самостоятельной работы (написание курсовых и дипломных работ, сбор информации в Сети Интернет, разработка мультимедийных программно-педагогических средств и т.д.).

Кроме этого широко используется методика обработки электронных таблиц и данных, представленных в табличном варианте. Электронные таблицы Excel дают возможность обрабатывать статистические сведения, также демонстрировать данные в виде графиков и диаграмм. Один из основных плюсов электронных таблиц автоматический пересчет данных согласно прежде заданным формулам, а также дополнение диаграмм при изменении значения, хранящегося в ячейке. Возможность быстрого пересчета данных при поступлении новых данных, расчета нескольких вариантов начальных данных упрощает прогнозирование разных ситуаций, также подбор более рационального варианта. Электронные таблицы можно свободно вставить в документ, сформированный в текстовом редакторе Word, либо ином приложении Microsoft Office.

Очень удобной технологией обработки данных в подготовке будущих учителей ФК рассматривается технология баз данных, разрешающая создать информационную модель объектной области. Она представляет собой поименованную классификацию консолидированных данных об объектах этой предметной области, причем все данные организуются на общих принципах описания, хранения и обработки. База данных позволяет аккумулировать и сохранять большие объемы данных, обеспечивает необходимость поиска и выборки данных по классификации критериев, заданных на языке системы управления базой данных, осуществлять разнообразную обработку данных. Базы данных в настоящее время находят эффективное применение в области ФКС, поэтому на эту технологию следует обращать достаточное внимание при подготовке специалистов [1].

Совершенствование технических и программных средств обработки графической информации формирует различные перспективы применения этой технологии в области ФКС. Так широкое применение находит использование видеосъемки с дальнейшей обработкой графической информации, которая совместно с технологией оперативного биомеханического моделирования применяется для усовершенствования мастерства спортсменов высокой квалификации. Совершенствование

технологии обработки графической информации и перспектив ее использования делают злободневным формирование общего восприятия и опытов работы с графической информацией в процессе подготовки специалистов в области физической культуры и спорта.

Сетевые технологии и сеть Internet раскрывают перед будущими учителями физической культуры широчайшие перспективы. Сеть Internet дает возможность найти всеобъемлющую информацию по заинтересовавшей проблематике, совершать обмен информацией между обучающимися и педагогами, между учеными, занимающимися научными исследованиями. Знания в области сетевых информационных технологий характеризуются целесообразной составляющей подготовленности специалистов в области физической культуры и спорта [2, 3].

**Заключение.** Вышеперечисленные информационные технологии являются актуальными для использования в области физической культуры и спорта. Это определяет потребность их в процессе подготовки будущих учителей физической культуры, которым необходимо владеть методами и средствами решения практических и научных задач на базе применения новейших информационно-коммуникационных технологий. Подготовленность будущих учителей физической культуры необходимо совершенствовать с учетом отечественного и зарубежного опыта в применении информационных технологий в образовательном процессе. Информационные технологии дают возможность значительно увеличить свой творческий потенциал, заинтересованность в будущей профессии, формированию информационной компетентности. Во время обучения студенты приобретают и профессиональные компетенции, которые в дальнейшем им помогают адаптироваться в профессиональной деятельности.

### **Список литературы**

1. Петров П. К. Информационные технологии в физической культуре и спорте: учебное пособие / П. К. Петров. – Саратов : Вузовское образование, 2020. – 377 с.
2. Роберт И.В. Теория и методика информатизации образования (психологопедагогический и технологический аспекты). – 2-е издание, дополненное. – М.: ИИО РАО, 2008. – 274 с.
3. Егоян А. Э., Мирцхулава М. Б., Читашвили Д. М. Аспекты комплексного использования информационных технологий в спорте // Физ. воспитание студентов творческих специальностей. – 2007. – № 4. – С. 15–19.

## МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИГРОВОГО ТРАФИКА

**Едемская Е.Н., Бельков Д.В.**, канд. техн. наук, доц.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР  
*belkovdv@list.ru*

**Введение.** Одним из самых прибыльных бизнесов в Интернете являются онлайн-игры. Из всех жанров таких игр, MMORPGs (Massive Multiplayer Online Role Playing Games) стали самыми популярными среди сетевых геймеров, и теперь привлекают миллионы пользователей, которые играют одновременно через Интернет в развивающемся виртуальном мире. Исследование самоподобия игрового трафика MMORPGs было проведено в работе [1].

В данной статье при исследовании трафика игрового сервера предложено использовать мультифрактальный анализ. Целью работы является исследование трафика игрового сервера, направленное на выявление его характерных особенностей. Изучается временной ряд интервалов между пакетами. Задачей работы является мультифрактальный анализ интервалов между пакетами MMORPGs-трафика. Исследования выполнены в среде Octave с помощью алгоритма MFdfa.

**Основная часть.** Метод мультифрактального анализа сводится к следующим шагам [2]:

1. Для исследуемого ряда  $x(i), i = 1, 2 \dots, N$  следует выделить флюктуационный профиль, где  $\bar{x}$  – среднее значение.
2. Полученные значения  $y(i)$  разделяются на  $N_s = N/s$  непересекающихся сегментов равной длины  $s$ . При этом следует учесть, что длина ряда  $N$  не всегда кратна шкале  $s$ . Поэтому, чтобы не исключать из анализа последний участок, содержащий число элементов, меньшее  $s$ , следует повторить процедуру деления, начиная с противоположного конца ряда. В результате получаем  $2N_s$  сегментов  $v = 1, 2, \dots, N_s, N_s + 1, \dots, 2N_s$  длины  $s$ .
3. Используя метод наименьших квадратов, для профиля  $y(i)$ , отвечающего каждому из этих сегментов, вычислить локальный тренд  $y_v(i)$ , представляющий полином, степень которого обеспечивает заданную точность. Затем для сегментов  $v=1, 2, \dots, N_s$  по формуле (1) определяется дисперсия:

$$F^2(v, s) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{y[(v-1)s+i] - y_v(i)\}^2 \quad (1)$$

Для  $v = N_s + 1, \dots, 2N_s$  используется формула (2):

$$F^2(v, s) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{y[N-(v-1)s+i] - y_v(i)\}^2 \quad (2)$$

Усредня значения (1), (2), деформированные произвольным показателем  $q$ , вычисляются моменты:

$$F_q(s) = \left\{ \frac{1}{2N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} [F^2(v, s)]^{q/2} \right\}^{1/q} \quad (3)$$

При  $q \rightarrow 0$  вместо (3) нужно использовать формулу (4)

$$F_{q0}(s) = \exp \left\{ \frac{1}{4N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} \ln[F^2(v, s)] \right\} \quad (4)$$

Характерно, что при положительных показателях  $q$  основной вклад в сумму по  $v$  дают сегменты, отвечающие большим отклонениям  $F^2(v, s)$ , а при отрицательных доминируют вклады малых флюктуаций.

Самоподобное поведение, означающее наличие дальнодействующих степенных корреляций, представляется степенной зависимостью моментов (3), (4):

$$F_q(s) \propto s^{h(q)} \quad (5)$$

При фиксированном значении  $q$  эта зависимость в двойных логарифмических координатах представляет собой прямую линию. При больших значениях  $s$  зависимость  $F_q(s)$  не имеет статистической информативности, поскольку число сегментов  $N_s$ , используемых в процедуре усреднения (3), (4), становится малым. При обработке ряда нужно исключить значения  $s > N/4$ , а также малые сегменты ( $s < 6$ ), для которых теряет статистическую достоверность усреднение (1), (2) по каждому из сегментов.

Если ряд экспериментальных данных является монофракталом, то обобщенный показатель Херста  $h(q)$  в равенстве (5) принимает единственное значение  $h(q) = H$ . В случае мультифрактального ряда показатель  $h$  зависит от  $q$ . Для стационарных рядов  $h(0)$  определяет топологическую размерность пространства, содержащего фрактальное множество,  $h(1)$  – меру его беспорядка,  $h(2)$  – показатель дальних корреляций.

В рамках стандартной фрактальной идеологии используется не только обобщенный показатель Херста  $h(q)$ , но массовый показатель  $\tau(q)$  и мультифрактальный спектр  $f(\alpha)$ . Этот переход достигается преобразованиями Лежандра:

$$\tau(q) = qh(q) - 1 \quad (6)$$

$$\alpha = \tau'(q), f(\alpha) = q\alpha - \tau(q) \quad (7)$$

Для монофрактальных объектов функция  $\tau(q)$  является прямолинейной зависимостью, которая с переходом к мульти фракталам выгибается, сохраняя прямолинейные участки. Наиболее ярко строение самоподобного объекта представляется формой мультифрактального спектра  $f(\alpha)$ , ширина которого дает набор фрактальных размерностей. Для монофракталов функция  $f(\alpha)$  имеет -образную форму с фиксированным значением  $\alpha$ .

В работе выполнен вычислительный эксперимент, результаты которого свидетельствуют о мультифрактальности трафика игрового

сервера. На рисунке 1 показан изучаемый временной ряд интервалов между пакетами MMORPGs-трафика [3]. Результаты вычислительного эксперимента показаны на рисунке 2. Ширина мультифрактального спектра равна 0,769. Поскольку она не является нулевой, то изучаемый ряд – мультифрактальный.

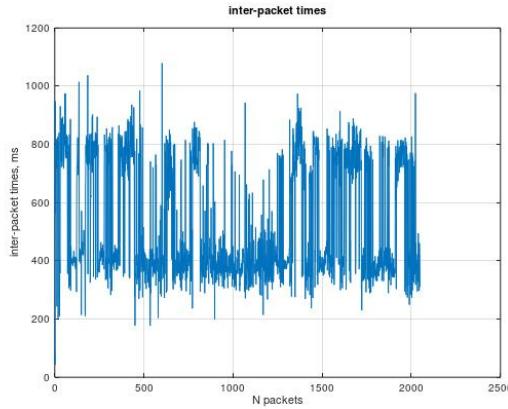


Рис. 1. Изучаемый временной ряд.

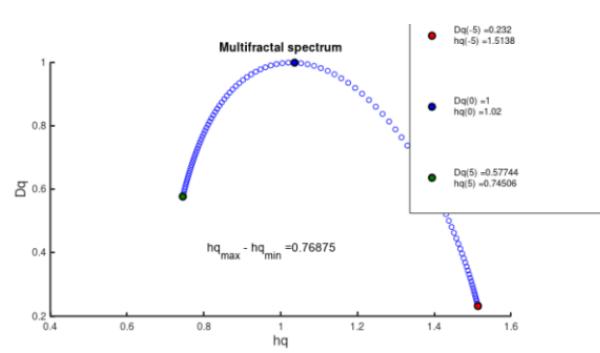


Рис. 2. Ширина мультифрактального спектра

**Заключение.** В работе с помощью алгоритма MFDFA в среде Octave выполнен мультифрактальный анализ временной ряд интервалов между пакетами трафика игрового сервера. Показано, что структура MMORPGs-трафика является мультифрактальной с шириной мультифрактального спектра равной 0,769.

### Список литературы

1. Kuan-Ta Chen, Chun-Ying Huang, Chin-Laung Lei. Game traffic analysis: an MMORPG perspective. – Режим доступа: <https://dl.acm.org/doi/10.1016/J.COMNET.2005.11.005>
2. Introduction to multifractal detrended fluctuation analysis in Matlab. – Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2012.00141/full>
3. ShenZhou Online, UserJoy Technology Co., Ltd. – Режим доступа: <http://www.ewsoft.com.tw/>

УДК 681.8:004

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ОДНОРОДНЫХ ОТДЕЛИМЫХ СТРУКТУР В АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ОБРАЗОВ ЗВУКОВЫХ ВОЛН.

**Мокляк Н.Ю.**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*nikoly555mok@gmail.com*

**Введение.** Анализ амплитудно-временного представления образов звуковых волн (АВП ОЗВ) показал, что при активном участии голосовых

связок в процессе речеобразования в сигнале присутствуют фрагменты, содержащие квазипериодические элементы – квазипериоды (КП). С течением времени энергия сигнала изменяется, т.е. наблюдаются участки роста (экскурсии), пика (выдержки) и угасания (рекурсии) энергии, что в совокупности составляет энергетически завершённый фрагмент (ЭЗФ) [2–4]. При этом ЭЗФ проявляются как на самом низком уровне (подпоследовательность полных колебаний (ПК) как элементарных составляющих волнового процесса, например в рамках КП), так и в подпоследовательностях КП, вплоть до покрытия всего сигнала на самом верхнем уровне [2, 3].

В ходе бакалаврской дипломной работы, используя полные колебания, ЭЗФ 1-го и 2-го уровня, был разработан алгоритм выделения последовательности КП.

Изучая полученные КП, были полученные ожидаемые закономерности: то, что соседние КП похожи, и то, что в рамках хода сигнала, они изменяются, и в какой-то момент становятся абсолютно не похожие на изначальный сигнал.

**Основная часть.** Выдвинем такую гипотезу: некоторые участки с КП можно рассматривать как некую однородную отдельную структуру (ООС). Возникает и главная проблема, которая и является темой статьи – как найти и установить границы между такими структурами?

Если предположить, что такая структура будет соответствовать границам ЭЗФ, то соответственно последовательность КП должна иметь следующую динамику: сначала КП формируется, амплитуда возрастает, затем амплитуда становится максимальной на один или несколько КП, а потом она начинает гаснуть. При этом все КП будут похожи между собой.

Однако процесс речеобразования динамичен. Этапы коартикуляции, представляющие собой фрагменты непрерывного изменения конфигурации голосового тракта для воспроизведения нового звука [1, 5], отражаются в АВП ОЗФ как последовательности КП с изменяющейся внутренней структурой, часто сопровождающейся «провалом» энергии, отображающие одновременно этапы рекурсии предыдущего и экскурсии следующего ЭЗФ 2-го/3-го уровня. Такие фрагменты также можно определить как ООС со своей характеристикой (постоянное изменение внутренней структуры). При этом требует детального анализа проблема установления четкой границы между соседними ООС.

Рассмотрим участок АВП ОЗФ с выделенными КП, для проверки гипотезы. Для примера возьмём АВП образца слова "один", произнесенного мужским голосом (рис. 1).

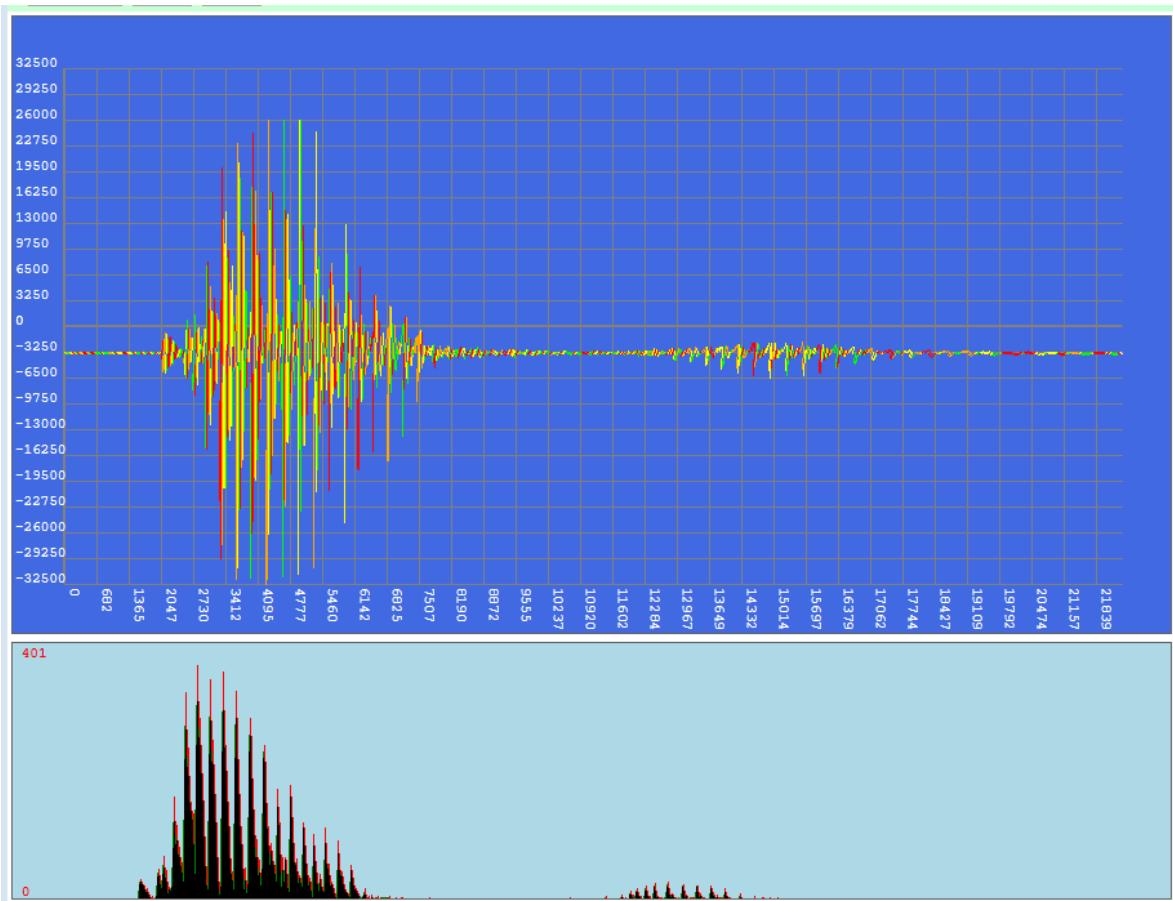


Рис. 1. АВП образа слова «один»

Здесь и далее на рисунках в верхней части изображение АВП ОЗФ участка исходного сигнала, в нижней части – «динамический портрет» этого же участка, отражающий амплитуду и длину полных колебаний.

Рассмотрим более подробно фрагмент сигнала АВП ОЗФ с выделенными КП (рис. 2).

Детальный анализ фрагмента позволяет наблюдать плавное изменение структуры сигнала в выделенных КП. При этом визуально выделяются участки с почти постоянной внутренней структурой КП и с определенной направленностью ее изменения. Проведем границы этих участков – отделим их друг от друга (рис. 3).

Участок 1 – с почти постоянной внутренней структурой КП. Участок 2 характеризуется плавным изменением КП, далее также участок с изменениями, но более резкими, который скорее всего можно будет соединить с участком 2. Участок 3 содержит небольшие изменения и почти равную амплитуду КП.

Было выделено 3 однородных участка [2, 3] – ООС. Границы установлены вручную. При этом возникают спорные моменты. Например, куда необходимо отнести участок между второй и третьей ООС, ко второй или третьей ООС, или же это отдельная структура, фактически и являющаяся границей между ними.

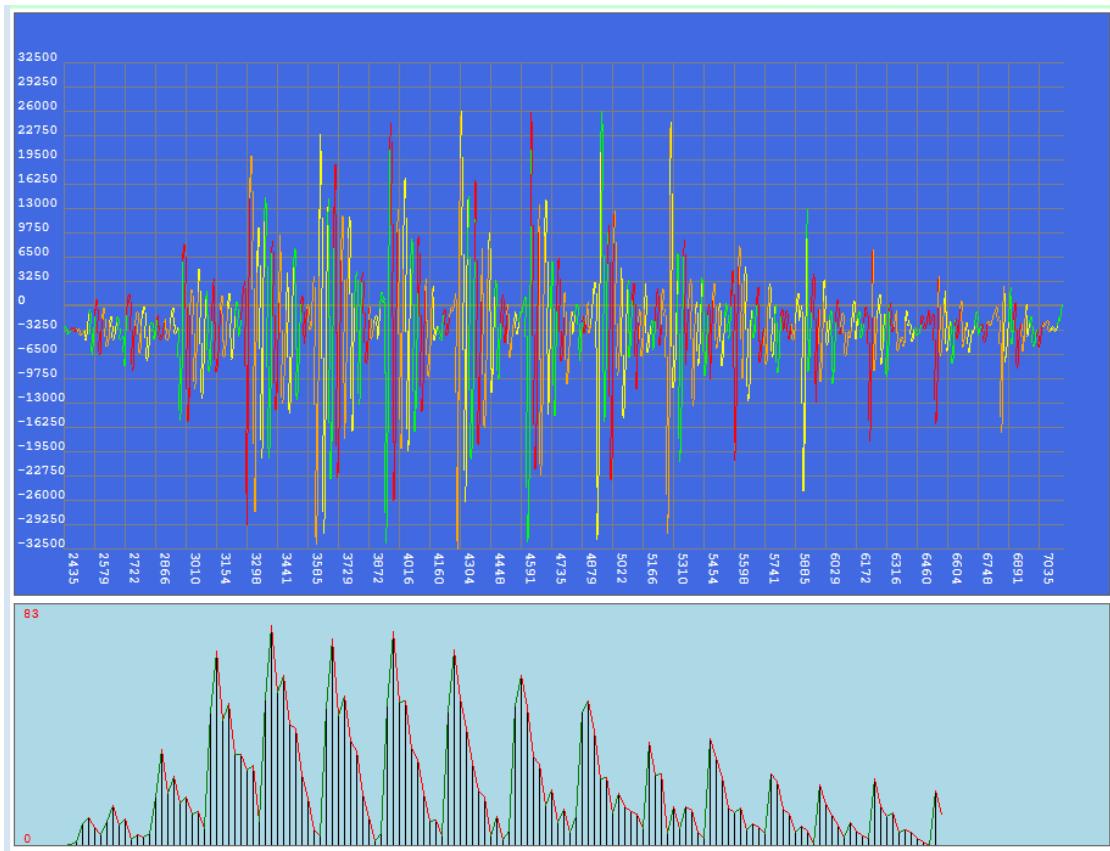


Рис. 2. Фрагмент АВП образа слова «один»

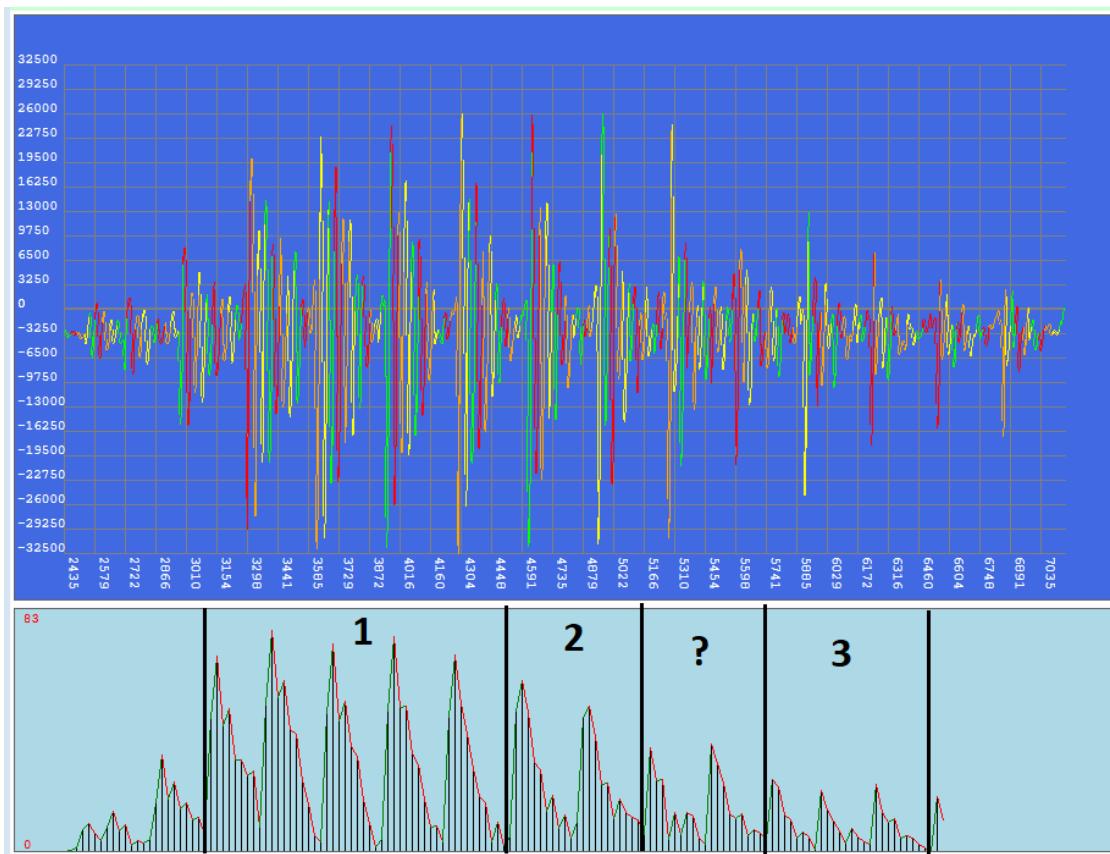


Рис. 3. Участки ООС

**Заключение.** Границы однородных отдельных структур следует устанавливать с учетом одновременно энергетической характеристики элементов и их внутренней структуры. Также меняя параметры поиска КП, можно улучшить или повысить количество КП, что в теории может упростить поиск границы однородных структур.

### **Список литературы**

1. Голос человека [Электронный ресурс] / Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://ency.info/materiya-i-dvigenie/akustika/343-vibraciya>, свободный. – (Дата обращения 01.03.2020).
2. Мышко С. В. Определение на амплитудно-временном представлении звуковых волн элементарных и однородных квазипериодических структур / С. В. Мышко, С. В. Блохин, А. В. Доценко // Биофизика сложных систем. – 1993. – С. 92-100.
3. Мышко Н. В. Определение энергетически завершенных фрагментов амплитудно-временного представления звуковых волн / Н. В. Мышко, А. В. Доценко, С. В. Блохин, С. В. Мышко // Биофизика сложных систем. – 1993 – С. 103-117.
4. Хашан Т. С. Автоматическое определение границ текущих объектов исследования для решения задач пеленгации, сегментации речевых и специальных сигналов / Т. С. Хашан // Штучний інтелект. – 2009. – № 2. – С. 40-48.
5. Фант. Г. Акустическая теория речеобразования / Фант. Г. – Наука, 1964. – 305 с.

УДК 681.332

## **ПОСТРОЕНИЕ КРИПТОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ ШИФРА ХИЛЛА И АЛГОРИТМА RSA**

***Павлишин К.А., Рыбалко Л.А., доц.***

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*blackhawk05@rambler.ru, l.rybalko@donnu.ru*

**Введение.** Современное общество не может представить свою жизнь без средств передачи, хранения и обработки информации, будь то компьютер, телефон или другое электронно-вычислительное оборудование.

Для использования информационных технологий в различных областях необходимо обеспечить их надежность и безопасность. По этой причине широкое использование информационных технологий привело к быстрому развитию различных методов защиты информации, из которых основными можно, пожалуй, назвать, помехоустойчивое кодирование и криптографию.

Простейшие способы шифрования, такие как шифры перестановки или блочные, появились очень давно, однако научный подход к исследованию и разработке криптографических методов и алгоритмов появился только в двадцатом веке. Стоит заметить, что занятие

криптографией невозможно без серьезной математической подготовки. Особенно необходимы знания в области дискретной математики, абстрактной алгебры, теории чисел и теории алгоритмов.

Целью работы является создание крипtosистемы с помощью комбинирования шифров Хилла и RSA, использующих не сеть Фейстеля, а арифметические преобразования по заданному модулю.

**Основная часть.** До 70-х годов криптография была уделом военных, и практически не существовало каких-либо публикаций. Первопроходцем явился шифр «Люцифер», разработанный в 1970 году компанией IBM и основанный на SP-сети. Идея шифра заключалась в использовании комбинаций простых и, следовательно, быстро вычисляемых как аппаратно, так и программно операций [3].

Шифр RSA – впервые был публично описан в 1977 году. Система была создана такими людьми как: Рон Ривест, Ади Шамир и Леонард Адлеман. От их фамилий и пошла аббревиатура RSA. Стоит заметить, что эквивалентная система была разработана еще в 1973 году в GCHQ английским математиком Клиффордом Коксом [6].

Основной принцип работы RSA заключается в том, что пользователь создает на основе двух больших простых чисел, а также вспомогательного значения, два ключа. Один из них, называемый открытым, публикуется. Простые числа и второй ключ держатся в секрете. Далее сообщение шифруется с помощью открытого ключа и может быть расшифровано только тем, кто знает секретный ключ.

На данный момент асимметричное шифрование на основе открытого ключа RSA использует большинство продуктов на рынке информационной безопасности.

Его криптостойкость основывается на сложности разложения на множители больших чисел, а именно – на исключительной трудности задачи определить секретный ключ на основании открытого, так как для этого потребуется решить задачу о существовании делителей целого числа. Наиболее криптостойкие системы используют 1024-битовые и больше числа.

Рассмотрим алгоритм RSA с практической точки зрения [6].

Для начала необходимо сгенерировать открытый и секретный ключи:

- Возьмем два больших простых числа  $p$  и  $q$ .
- Определим  $n$ , как результат умножения  $p$  на  $q$  ( $n = p * q$ ).
- Выберем случайное число, которое назовем  $d$ . Это число должно быть взаимно простым (не иметь ни одного общего делителя, кроме 1) с результатом умножения  $(p - 1) * (q - 1)$ .
- Определим такое число  $e$ , для которого является истинным следующее соотношение  $(e * d) \bmod ((p - 1) * (q - 1)) = 1$ .

Назовём открытым ключом числа  $e$  и  $n$ , а секретным -  $d$  и  $n$ .

Для того чтобы зашифровать данные по открытому ключу  $\{e, n\}$ , необходимо следующее:

- Разбить шифруемый текст на блоки, каждый из которых может быть представлен в виде числа  $M(i)=0,1,2,\dots, n-1$  (т.е.  $0 \leq M(i) \leq n-1$ ).
- Зашифровать текст, рассматриваемый как последовательность чисел  $M(i)$  по формуле  $C(i)=(M(i)e) \bmod n$ .

Чтобы расшифровать эти данные, используя секретный ключ  $\{d,n\}$ , необходимо выполнить следующие вычисления:  $M(i) = (C(i)^d) \bmod n$ . В результате будет получено множество чисел  $M(i)$ , которые представляют собой исходный текст.

Основные причины, из-за которых шифр RSA трудно взломать [6]:

- Атака грубой силой не поможет, так как слишком много возможных ключей,
- Не существует специальных математических приемов для взлома RSA.

Шифр Хилла – был изобретен американским математиком Лестером Хиллом в 1929 году. Он также основан на модульной арифметике и линейной алгебре. Этот шифр был первым, который позволял одновременно шифровать сразу несколько символов [1].

Шифрование происходит по формуле  $Y^j = A * X^j \bmod m$ , где  $X^j = (x_1^j, x_2^j, \dots, x_k^j)^T$  –  $j$ -ый блок исходного текста,  $Y^j$  –  $j$ -ый блок шифротекста,  $A$  – квадратная невырожденная матрица размером  $k \times k$ , являющаяся ключем шифра. При этом  $NOD(\det(A), m) = 1$ , где  $m$  – мощность алфавита.

Расшифровывание выполняется как  $X^j = A^{-1} * Y^j \bmod m$ , где  $A^{-1}$  – матрица, обратная матрице  $A$  по  $\bmod m$ .

Данный шифр не нашел практического применения из-за слабой устойчивости к взлому и сложности генерации прямых и обратных матриц большого размера.

Шифр Хилла сильно уязвим для атак по открытому тексту из-за того, что в нем используются только линейные операции. Чтобы усилить его криптостойкость предлагается с помощью алгоритма RSA шифровать  $j$ -ый блок шифротекста  $Y^j$ . Что позволит устраниТЬ данную уязвимость.

**Заключение.** Учитывая, что крипtosистема Хилла и алгоритм RSA были созданы довольно давно и уже существуют возможности взлома крипtosистемы Хилла (как например атака по открытому – закрытому тексту при получении не менее  $k^2$  блоков), комбинация данных шифров будет иметь криптостойкость, большую чем RSA. Несомненно, стоит упомянуть и об увеличении затрачиваемого времени при шифровании/дешифровании. Обусловлено это тем, что при использовании алгоритма RSA вычисления проводятся на довольно больших числах.

Предложенный вариант крипtosистемы делает невозможным провести атаку по парам открытый – закрытый текст.

## **Список литературы**

1. Аграновский А. В. Практическая криптография: алгоритмы и их программирование. / А. В Аграновский, Р. А. Хади. – М.: «Солон-Пресс», 2009. – 256 с.
2. Аграновский А. В. Классические шифры и методы их криптоанализа. / А. В. Аграновский, А. В. Балакин, Р.А. Хади. – М.: «Горячая линия – Телеком», 2000. – 170 с.
3. Бабаш А. В. Информационная безопасность. История защиты информации в России / А. В. Бабаш, Е. К. Баранова, Д. А. Ларин – М.: 2005. – 736 с.
4. Баранова Е. К. Информационная безопасность и защита информации 3-е изд. / Е. К. Баранова, А. В. Бабаш – М.: 2013. – 336 с.
5. Баричев С. Г. Криптография без секретов. / С. Г. Баричев. – М.: «Горячая линия – Телеком», 2000. – 120 с.
6. Сонг Я. Криptoанализ алгорима RSA. / Я. Сонг – М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2010. – 312 с.

УДК 004.896

## **ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ GT-ОБЪЕКТОВ ОБРАЗОВ БИНАРНЫХ РАСТРОВЫХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗНАКОВ ОТКРЫТЫХ АЛФАВИТОВ В ДИСКРЕТНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ**

**Шевцов Д.В.**, д-р техн. наук, доц., **Шевцова Е.В.**  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*d.shevtssov@donnu.ru, shelenav@yandex.ru*

**Введение.** Как следует из [1], GT-объект предполагает его использование для последующего применения методов автоматического моделирования, распознавания и именования. На основании проведенных в [1] рассуждений и поставленной в [2] задаче исследования, опишем информационную технологию построения модели GT-объекта с целью дальнейшего распознавания и именования образов бинарных растровых цифровых изображений.

**Основная часть.** Для простоты изложения материала будем полагать, не ограничивая общности проводимых рассуждений, что объектом исследования в работе является единственный GT-объект, результирующий обработку образа одного из представленных на исходном растровом цифровом изображении (РЦИ) знака некоторого открытого алфавита. Для всех остальных GT-объектов применение описываемой информационной технологии осуществляется аналогично.

В соответствии с этим, определим искомый объект исследования как множество КП, являющееся GT-объектом некоторого D-знака, в дальнейшем – GT-знак [3].

Согласно [3], GT-знак – это множество КП, каждый из которых является на множестве атомарных элементов образом траектории

движения, совокупность реализаций которых в результате сформировала исходный фрагмент изображения. Следует заметить, что множество АЭ, формирующих связки всех кратчайших путей одного GT-знака, является, в свою очередь D-знаком, который не предполагает возможности последующего «утоньшения».

Рассмотрим произвольный GT-знак как конечное вполне упорядоченное множество КП:  $Z_{GT} = \{L_k^{GT}(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}) \mid L_k^{GT}(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}) \in \mathfrak{I}_2(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k})\}_{k=1}^{K_{GT}}$ , состоящий из  $K_{GT}$  кратчайших путей. Будем полагать при этом, что  $\alpha_{a_k} \neq \alpha_{b_k}$ ,  $k = \overline{1, K_{GT}}$ , то есть все КП GT-знака не являются замкнутыми [4].

При разработке метода автоматического моделирования знаков, заданных на множестве АЭ кратчайшими путями, был проведен анализ GT-знаков, являющихся образами фрагментов документов, подлежащих автоматизированному анализу, в результате которого были выявлены основные характеристики КП  $L_k^{GT} \in Z_{GT}$ ,  $k \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$ , значимые при формировании модели. Указанные характеристики перечислены ниже.

1. Количество связок, формирующих КП  $L_k^{GT} \in Z_{GT}$ ,  $k \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$ , или значение второй меры данного пути:  $n_k^{GT} = \mu_2(L_k^{GT})$ .

2. Ориентации кратчайших путей, определенные в [5]. При моделировании GT-знаков и составляющих их элементов – КП – существенно установление того факта, является ли кратчайший путь  $L_k^{GT} \in Z_{GT}$ ,  $k \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$ , ориентированным влево, вправо, вверх или вниз, либо он является D-отрезком между АЭ  $\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}$ , что позволит, в частности, осуществлять проверку адекватности автоматически полученной модели исходной модели концепта изображения знака.

При проведении дальнейших рассуждений, в том числе для определения ориентации кратчайших путей рассматриваемых GT-знаков, введем в рассмотрение отображение

$Or: L_2(\alpha_a, \alpha_b) \rightarrow \{l\_or, r\_or, t\_or, b\_or, d\_s\}$ , которое произвольному КП  $L(\alpha_a, \alpha_b) \in L_2(\alpha_a, \alpha_b)$  ставит в соответствие элемент  $Or(L(\alpha_a, \alpha_b)) \in \{t\_or, l\_or, b\_or, r\_or, d\_s\}$  согласно следующей формуле:

$$Or(L(\alpha_a, \alpha_b)) = \begin{cases} t\_or, & \text{если КП } L(\alpha_a, \alpha_b) \text{ является ориентированным вверх,} \\ l\_or, & \text{если КП } L(\alpha_a, \alpha_b) \text{ является ориентированным влево,} \\ b\_or, & \text{если КП } L(\alpha_a, \alpha_b) \text{ является ориентированным вниз,} \\ r\_or, & \text{если КП } L(\alpha_a, \alpha_b) \text{ является ориентированным вправо,} \\ d\_s, & \text{если КП } L(\alpha_a, \alpha_b) \text{ является D-отрезком между АЭ } \alpha_a, \alpha_b, \end{cases}$$

где ориентация КП трактуется на основании определений [4].

3. Взаимное расположение пары кратчайших путей  $L_k^{GT}, L_t^{GT} \in Z_{GT}$ ,  $k, t \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$  также является важной характеристикой элементарных

составляющих модели GT-знака, которая устанавливает тип возможной взаимосвязи пары путей. В работе [3] предложено различать пары Т-, В- и Х-путей, для каждой из которых следует указывать Т-, В- и Х-атрибуты.

4. Значение  $i$ -меры каждого кратчайшего пути GT-знака, являющееся аналогом значения меры угла наклона отрезка к горизонтали, которая введена во всюду плотных множествах. Как следует из [5], указанная характеристика элементарных составляющих моделей анализируемых на множестве АЭ объектов позволяет для произвольной пары КП  $L_k^{GT}, L_t^{GT} \in Z_{GT}, k, t \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$ , указать кортеж  $\Gamma(L_k^{GT}, L_t^{GT}) = <\mu_3^{L_1} - \mu_3^{L_2}, M>$ , где величины  $M, \mu_3^{L_1}$  и  $\mu_3^{L_2}$  для выбранной пары путей определяются на основании определения [6]. Данный кортеж является аналогом значения градусной меры угла между парой отрезков всюду плотного множества, однако выбранная характеристика задана также и для произвольных кратчайших путей, что позволяет ее использовать для анализа существенно более широкого множества элементарных составляющих моделей GT-знаков.

Кроме того, в [6] определено отображение  $\Gamma': L_2(\alpha_a, \alpha_b) \rightarrow Z \times N$ , которое произвольному КП  $L_k^{GT}(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}) \in Z_{GT}, L_k^{GT}(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}) \in \mathfrak{I}_2(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}), k \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$ , ставит в соответствие кортеж:  $\Gamma'(L_k^{GT}) = <\mu_3^{L_1}, n_k^{GT}>$  где  $n_k^{GT} = \mu_2(L_k^{GT})$ , величина  $\mu_3^{L_1} = \mu_3(u_M(\alpha_0, \alpha_{b_k}))$  вычисляется на основании задания множеств  $U_M, \partial U_M$  для выбранного пути  $L_k^{GT}$  при  $M = n_k^{GT}$ .

**Заключение.** Для того, чтобы эффективно использовать каждую из перечисленных выше характеристик КП произвольного GT-знака, в том числе комплексно учитывать взаимное расположение всех элементарных составляющих формируемой модели, требуется введение для знаков, моделируемых на множестве атомарных элементов, понятия индикативной матрицы. Элементы указанной матрицы должны отражать типы взаимных расположений пар КП, образующих моделируемый GT-знак, если таковые могут быть установлены согласно определениям [6].

## Список литературы

1. Вайсруб Н. В. Применение способа формирования GT-объектов и способа автоматического моделирования изображений при проектировании систем технического зрения / Н. В. Вайсруб, А.-В. В. Мельник, С. В. Мышко, Д. В. Шевцов // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – Харьков: УкрГАЖТ. – 2009. – № 2 (75). – С. 55-59.
2. Шевцов Д. В. Информационная технология автоматического моделирования GT-объектов образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов / Д. В. Шевцов // Сборник научных трудов ДОНИЖТ. – 2019. – Вып. 55, секция «Автоматика, телемеханика, связь». – С. 4-11.
3. Шевцов Д. В. Способ формирования GT-объектов образов изображений на множестве атомарных элементов / А.-В. В. Мельник, С. В. Мышко, Д. В. Шевцов//

- Сборник научных трудов Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2009. – Вып. 2. – С.117-124.
4. Шевцов Д. В. Основные теоретические положения способа автоматического моделирования бинарных изображений / Н. В. Вайсруб, С. В. Мышко, Д. В. Шевцов // Проблемы информационных технологий. – Херсон: ХНТУ, 2008. – № 2. – С. 43-52.
  5. Шевцов Д. В. Определение ориентации элементарных составляющих моделей знаков, подлежащих автоматическому именованию на множестве атомарных элементов / Д. В. Шевцов // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2013. – № 2. – С. 95-102.
  6. Шевцов Д. В. Использование и-меры для определения количественных характеристик пар кратчайших путей и D-отрезков на множестве атомарных элементов / Д. В. Шевцов // Информатика и кибернетика. – Донецк, ДонНТУ: 2019. – № 3 (17). – С. 15-20.

УДК 004.896

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИМЕНОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ЗНАКОВ БИНАРНЫХ РАСТРОВЫХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ДИСКРЕТНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ

**Шевцов Д.В.**, д-р техн. наук, доц., **Шевцова Е.В.**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*d.shevtssov@donnu.ru, shelenav@yandex.ru*

**Введение.** Основные теоретические положения метода моделирования знаков открытых алфавитов, содержащихся в сканированных копиях электронных информационных ресурсов, позволили разработать информационную технологию автоматической обработки, анализа и классификации образов указанных знаков в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов. В материалах изложены основные этапы процессов именования моделей знаков бинарных растровых цифровых изображений в дискретных представлениях.

**Основная часть.** Согласно [1], распознавание образов изображений целесообразно осуществлять без априорного задания множеств имен и репрезентативных представителей классов объектов, структурных элементов моделей, значащих признаков или непроизводных элементов. Рассмотрим принципы распознавания и именования указанных изображений на основании предложенного в [2] метода автоматического моделирования знаков на дискретном множестве атомарных элементов.

Для этого предположим, согласно [1], что множество  $W$  имен распознаваемых изображений знаков, а также множество  $B$  их репрезентативных представителей, пусты, то есть  $W = \emptyset, B = \emptyset$ . Тогда для произвольного растрового цифрового изображения знака некоторого

алфавита осуществляется его бинаризация, уточнение и автоматическое формирование пары  $(P(Z_{GT}), \overline{M^{Z_{GT}}})$ , где  $Z_{GT}$  – образ бинарного РЦИ, представленный информационной технологией генерации GT-объекта как совокупность путей на дискретном множестве атомарных элементов,  $P(Z_{GT})$  – представление GT-знака  $Z_{GT}$ ,  $\overline{M^{Z_{GT}}}$  – множество его моделей.

Модели множества  $\overline{M^{Z_{GT}}}$  соответствуют моделям концепта исходного изображения знака, поскольку основаны на выявлении в его образе на множестве АЭ фрагментов, характеризуемых сохранением локально-глобальных направлений движений, осуществленных в процессе его генерации, следовательно, могут быть использованы для анализа и классификации растровых цифровых изображений (РЦИ), взаимно однозначно соответствующего исходному с точностью до использованного средства ввода изображения в ЦЭВМ.

В соответствии с этим, если с точки зрения пользователя результат визуализации П-валидной модели из множества  $\overline{M^{Z_{GT}}}$  соответствует концепту исходного изображения знака, ему присваивается имя, вносимое в изначально пустое множество  $W$ . При этом во множество  $B$  вносится пара  $(P(Z_{GT}), \overline{M^{Z_{GT}}})$ , являющаяся автоматически сгенерированным описанием исходного изображения, сформулированным в терминах дискретного множества АЭ. Заметим, что между элементами множеств  $W$  и  $B$  существует взаимно однозначное соответствие, позволяющее отождествлять между собой назначенное пользователем имя изображения знака выбранного алфавита и пару  $(P(Z_{GT}), \overline{M^{Z_{GT}}})$ , описывающую автоматически сгенерированный GT-знак как образ исходного бинарного РЦИ на дискретном множестве атомарных элементов.

Иначе, если указанный результат визуализации не позволяет пользователю отождествить его с именем исходного изображения знака, ему предоставляется результат визуализации сперва репрезентативной модели, и, в случае негативного результата, результаты последовательной визуализации подобных моделей GT-знаков из множества  $\overline{M^{Z_{GT}}}$ . Это осуществляется с целью определения той модели, которая наиболее точно, с точки зрения пользователя, соответствует модели концепта исходного изображения согласно используемой гипотезе о способе его генерации, и позволяет осуществить ее именование с введением новых элементов во множества  $W$  и  $B$ .

В случае, если пользователь не счел возможным назвать ни один из представленных ему результатов визуализации модели именем изображения знака, осуществляется процесс повторной генерации GT-знака исходного образа бинарного РЦИ с выбором GT-объекта, отличного от изначального. После этого процедура генерации пары  $(P(Z_{GT}), \overline{M^{Z_{GT}}})$  и выбора модели, которой присваивается имя, повторяется до тех пор, пока именование не будет осуществлено и множества  $W$ ,  $B$  в результате не пополняются новыми элементами.

На практике в ходе экспериментальных исследований ситуация, когда пользователь не находил возможным назвать или не называл ни один из представленных ему результатов визуализации моделей GT-знаков именем исходного изображения, не возникала.

Необходим учесть, что в случае, когда образ исходного бинарного цифрового изображения знака представлен на множестве атомарных элементов более чем одним связным множеством ААЭ, для каждого из GT-объектов автоматически формируются пары  $(P(Z_{GT}), \overline{M^{Z_{GT}}})$ . Пользователю для именования в таком случае предъявляются результаты визуализации моделей каждого из указанных GT-знаков. При этом одному имени, назначенному пользователем и вносимому во множество  $W$ , соответствует более одной пары  $(P(Z_{GT}), \overline{M^{Z_{GT}}})$ , добавляемой во множество  $B$ . Количество таких пар, очевидно, равно числу связных подмножеств ААЭ, являющихся образом исходного знака изображения на дискретном множестве атомарных элементов.

Таким образом, формирование множеств  $W$  и  $B$  соответственно имен и репрезентативных представителей классов распознаваемых изображений знаков осуществляется не априорно на основании данных, полученных статистически на этапе проектирования системы распознавания, а в результате реализации описанных процессов автоматической обработки, моделирования и анализа образов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов, представленных в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов, с последующим формированием самих алфавитов пользователем. В случае, когда множества  $W$  и  $B$  не пусты и содержат элементы, результирующие описанные выше процессы именования, для произвольного бинарного РЦИ генерируется GT-объект  $Z_{GT}$ , и формируется пара  $(P(Z_{GT}), \overline{M^{Z_{GT}}})$  (или, в случае необходимости, несколько пар). После этого во множестве  $B$  репрезентативных представителей классов распознаваемых объектов осуществляется поиск элемента  $(P(Z_{GT}^*), \overline{M^{Z_{GT}^*}})$  такого, что для образов  $Z_{GT}$ ,  $Z_{GT}^*$  и указанных пар выполнены условия из определения 4.5, в соответствии с которым исходное изображение знака является принадлежащим тому же классу объектов, что и изображение-прообраз GT-знака  $Z_{GT}^*$ . На этом основании рассматриваемое бинарное РЦИ автоматически именуется именем из множества  $W$ , взаимно однозначно соответствующим найденному элементу  $(P(Z_{GT}^*), \overline{M^{Z_{GT}^*}}) \in B$ .

В противном случае, если для анализируемого GT-знака  $Z_{GT}$  во множестве  $B$  отыскать соответствующий элемент не удалось, осуществляется процедура именования образа изображения знака с последующим внесением новых элементов во множества  $W$  и  $B$ .

**Заключение.** В работе представлен способ применения информационной технологии автоматического моделирования и

распознавания растровых цифровых изображений, не предполагающей использования структурных элементов моделей, значащих признаков или непроизводных элементов, который позволяет ее использовать для именования изображений знаков открытых алфавитов.

## Список литературы

1. Шевцов Д. В. Обоснование перспективных направлений при проектировании систем автоматизированной обработки видеинформации / Д. В. Шевцов // Труды XI научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании и управлении», Новая Каховка. – Херсон: ХНТУ, 2009. – С. 57.
2. Шевцов Д. В. Информационная технология автоматического моделирования ГТ-объектов образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов / Д. В. Шевцов // Сборник научных трудов ДОНИЖТ. – 2019. – Вып. 55, секция «Автоматика, телемеханика, связь». – С. 4-11.

УДК 512. 548

## ОТОБРАЖЕНИЯ СЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПОЛИАДИЧЕСКИХ КВАЗИГРУПП

**Щучкин Н.А.**, канд. физ.-мат. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный социально-педагогический университет», г. Волгоград, РФ  
*Nikolaj\_shchuchkin@mail.ru*

**Введение.** Для отображения слов, заданных в некотором алфавите, активно используются квазигруппы (другое название, латинские квадраты) (см., для примера, [1–3]). Здесь мы будем использовать полиадические квазигруппы (или  $n$ -квазигруппы, [4], стр. 6) для отображения слов, где  $n \geq 2$ .

Большое число полиадических квазигрупповых операций на фиксированном конечном множестве позволяет применять полиадические квазигруппы для кодирования. Такое применение квазигрупп ( $n$ -квазигрупп при  $n = 2$ ) имеется в статье [5]. Мы будем использовать полиадические квазигруппы при  $n \geq 2$ .

**Основная часть.** Рассмотрим конечную полиадическую квазигруппу  $\langle Q, f \rangle$ , где  $Q = \{a_1, \dots, a_k\}$ . Для нее имеется  $n$ -мерная матрица  $k$ -го порядка  $B = (b_{j_1 j_2 \dots j_n} | j_1, j_2, \dots, j_n = 1, 2, \dots, n)$  ([6], с. 5), где  $b_{j_1 j_2 \dots j_n} = f(a_{j_1}, a_{j_2}, \dots, a_{j_n})$ . Заметим, что в силу однозначной разрешимости уравнения

$$f(a_1, \dots, a_{i-1}, x, a_{i+1}, \dots, a_n) = a_i \quad (1)$$

для каждого индекса  $i = 1, \dots, n$ , в строках направления ( $i$ ) будут стоять различные элементы из  $Q$ . Приведенное соответствие является взаимно

однозначным. Для  $n = 2$  обычной квазигруппе  $\langle Q, f \rangle$  ставится в соответствие латинский квадрат  $k$ -го порядка.

Обозначим через  $Q^+$  совокупность всех слов в алфавите  $Q$ , т.е.  $Q^+ = \{x_1 \dots x_m \mid x_i \in Q, m \geq 1\}$ . На совокупности  $Q^+$  в статье [7] уже изучались отображения слов с помощью полиадических квазигрупп. Здесь мы изучим другие отображения слов, также применяя полиадические квазигруппы. Фиксируем набор элементов  $\alpha = (a_1, \dots, a_{n-1})$  из  $Q$  и на совокупности  $Q^+$  зададим отображение

$$F_\alpha(x_1, \dots, x_m) = \begin{cases} y_1 = f(a_1, \dots, a_{n-2}, a_{n-1}, x_1), \\ y_{i+1} = f(a_1, \dots, a_{n-2}, y_i, x_{i+1}), \quad (i = 1, \dots, m-1) \end{cases} \quad (2)$$

оно является биективным. Будем искать обратное отображение для  $F_\alpha$ .

Согласно однозначной разрешимости уравнения (1) для  $i = n$ , на множестве  $Q$  зададим еще одну  $n$ -арную операцию  $g$  по методу

$$g(a_1, \dots, a_{n-1}, a_n) = b \leftrightarrow f(a_1, \dots, a_{n-1}, b) = a_n.$$

Операции  $f$  и  $g$  подчиняются тождествам

$$\begin{aligned} g(x_1, \dots, x_{n-1}, f(x_1, \dots, x_{n-1}, y)) &= y = \\ &= f(x_1, \dots, x_{n-1}, g(x_1, \dots, x_{n-1}, y)). \end{aligned} \quad (3)$$

Для набора элементов  $\alpha$  на совокупности  $Q^+$  зададим отображение

$$G_\alpha(y_1, \dots, y_m) = \begin{cases} x_1 = g(a_1, \dots, a_{n-2}, a_{n-1}, y_1), \\ x_{i+1} = g(a_1, \dots, a_{n-2}, y_i, y_{i+1}), \quad (i = 1, \dots, m-1) \end{cases} \quad (4)$$

оно также является биективным. Из условия (3) получим равенства

$$G_\alpha(F_\alpha(\beta)) = \beta = F_\alpha(G_\alpha(\beta)) \quad (5)$$

для каждого слова  $\beta \in Q^+$ , т.е. отображение  $G_\alpha$  будет обратным для отображения  $F_\alpha$ .

Теперь строим композицию  $s$  отображений вида (2). Фиксируем полиадические квазигрупповые операции  $f_1, f_2, \dots, f_s$  на множестве  $Q$  одной и той же арности  $n$  и для заданных наборов элементов  $\alpha_j = (a_{1j}, \dots, a_{nj})$  из  $Q, j = 1, 2, \dots, s$ , на совокупности  $Q^+$  задаем соответственно отображения  $F_{\alpha_1}^{(1)}, F_{\alpha_2}^{(2)}, \dots, F_{\alpha_s}^{(s)}$  по условию (2), затем рассматриваем композицию  $F_{\alpha_s, \dots, \alpha_1} = F_{\alpha_s}^{(s)} \circ F_{\alpha_{s-1}}^{(s-1)} \circ \dots \circ F_1^{(1)}$ . Для отображения  $F_{\alpha_s, \dots, \alpha_1}$  обратным отображением является композиция  $G_{\alpha_1, \dots, \alpha_s} = G_{\alpha_1}^{(1)} \circ G_{\alpha_2}^{(2)} \circ \dots \circ G_s^{(s)}$ , где отображения  $G_{\alpha_j}^{(j)}, j = 1, 2, \dots, s$ , заданы в соответствии с отображениями  $F_{\alpha_j}^{(j)}$  также, как  $G_\alpha$  задано по отображению  $F_\alpha$ . Отображение  $F_{\alpha_s, \dots, \alpha_1}$  можно применять для кодирования текстов в алфавите  $Q$ . Ключом при таком кодировании является набор  $n$ -арных операций  $f_1, f_2, \dots, f_s$ .

При  $n = 2$  отображения  $F_{\alpha_s, \dots, \alpha_1}$  и  $G_{\alpha_1, \dots, \alpha_s}$  являются такими же, как в статье [5]. В этой статье приведены свойства таких отображений, которые показывают актуальность использования этих отображений в

криптографии. Для построенных выше отображений мы тоже доказали эти свойства.

**Теорема 1.** Полагаем  $b_1, \dots, b_m$  – слово в алфавите  $Q = \{a_1, \dots, a_k\}$ . Для каждого полиадических квазигрупповых операций  $f_1, f_2, \dots, f_s$  на множестве  $Q$  и для каждого набора элементов  $\alpha_j = (a_{1j}, \dots, a_{n-1j})$  из  $Q$ ,  $j = 1, 2, \dots, s$ , существует единственное слово  $d_1 \dots d_m$  в алфавите  $Q$  такое, что справедливо равенство

$$F_{\alpha_s, \dots, \alpha_1}(d_1 \dots d_m) = b_1 \dots b_m. \quad (6)$$

Рассмотрим теперь оценку возможностей нахождения ключей  $f_1, f_2, \dots, f_s$  (полиадических  $n$ -арных операций), которые указаны в отображении (6) по заданным наборам элементов  $\alpha_1, \dots, \alpha_s$  и словам  $d_1 \dots d_m, b_1, \dots, b_m$ .

**Теорема 2.** Для отыскания всех ключей  $f_1, f_2, \dots, f_s$  (полиадических  $n$ -арных операций), которые удовлетворяют равенству (6) при фиксированных наборах элементов  $\alpha_1, \dots, \alpha_s$  и словах  $d_1 \dots d_m, b_1, \dots, b_m$ , необходимо произвести столько испытаний, сколько найдется упорядоченных наборов из  $s - 1$  полиадических  $n$ -арных квазигрупповых операций на множестве  $Q$ .

## Список литературы

- Глухов М. М. О применениях квазигрупп в криптографии / М. М. Глухов. // ПДМ. 2008. – №2. – С. 28–32.
- Artamonov V. A. On Latin squares of polynomially complete quasigroups and quasigroups generated by shifts / Artamonov V. A., Chakrabarti S., Gangopadhyay S., Pal S. K. // Quasigroups and Related Systems. – 2013. – Vol. 21, No. 2. – P. 117–130.
- Artamonov V. A. Characterization of Polyno-mially Complete Quasigroups based on Latin Squares for Cryptographic Transformations / Artamonov V. A., Chakrabarti S., Pal S. K. // Discrete Applied Mathematics. – 2016. – P. 5–17.
- Белоусов В. Д.  $n$ -Арные квазигруппы / В.Д. Белоусов – Кишинев: Штиинца, 1972. 228 с.
- Markovski S. Quasigroup String Processing: Part 1 / Markovski S., Gligoroski D., Bakeva V. // Proc. of Maked. Academ. of Sci. and Arts for Math. And Tect. Sci. XX., 1999. – Р. 157–162.
- Соколов Н. П. Введение в теорию многомерных матриц / Н. П. Соколов – Киев. Наукова думка, 1972. – 175 с.
- Щучкин Н. А. Преобразования строк с помощью  $n$ -квазигрупп / Н. А. Щучкин // Алгебра, теория чисел и дискретная геометрия: современные проблемы, приложения и проблемы истории. Материалы XVIII Международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессоров Б. М. Бредихина, В. И. Нечаева и С. Б. Стечкина. – Тула, 2020. – С. 117–119.

# *Теория вероятностей и математическая статистика*

УДК 519.2

## **ОЦЕНКА ВЫПЛАТ ПО ДОГОВОРАМ СТРАХОВАНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СОБСТВЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

*Шницар И.Н., Жмыхова Т.В.*, канд. физ.-мат. наук, доц.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*irina.shnitsar@gmail.com*

**Введение.** Вопрос страхования в последние годы оказывается в фокусе исследовательского внимания, что объясняется своеобразным делегированием выплат, возникающих по наступлению страховых случаев в страховые компании, иначе они становились бы нагрузкой на бюджет государства, в том числе при наступлении техногенных катастроф.

Лицензируемая деятельность страховщиков традиционно подразумевает классификацию страхования [1] по таким видам как: личное страхование, страхование имущества, страхование гражданской ответственности, страхование рисков, финансовых и предпринимательских, а также различные виды общественного страхования, предусмотренного законодательством. Анализ указанных выше показателей является одной из важнейших задач статистики страхования [2].

**Основная часть.** В работе проводится исследование системы выплат по договорам страхования совместной федеральной и иностранной собственности [3] с помощью статистических методов. Поскольку размеры выплат, проводимых страховщиком, известны в вероятностях терминах, то представляется возможным оценка рисков с дальнейшим возможным их управлением. В работе посредством методов многомерного анализа [4], а именно кластерного анализа, построена классификация по объектам и формам собственности, а также произведена оценка уровня развития показателей совместной федеральной и иностранной собственности в конкретном экономическом направлении.

Для достижения поставленной цели и получения достоверных результатов использован программный пакет STATISTICA [5].

Предварительно все исходные данные были нормированы в целях устранения различий в единицах измерения; все преобразованные переменные приведены к единому диапазону значений путем их

выражения через величину, отражающую определенные свойства конкретного признака. Применяя кластерный метод **Joining (tree clustering)**, получены показатели, представленные на рис. 1, которые для наглядности полученных результатов, изображены на дендрограмме (рис. 2).

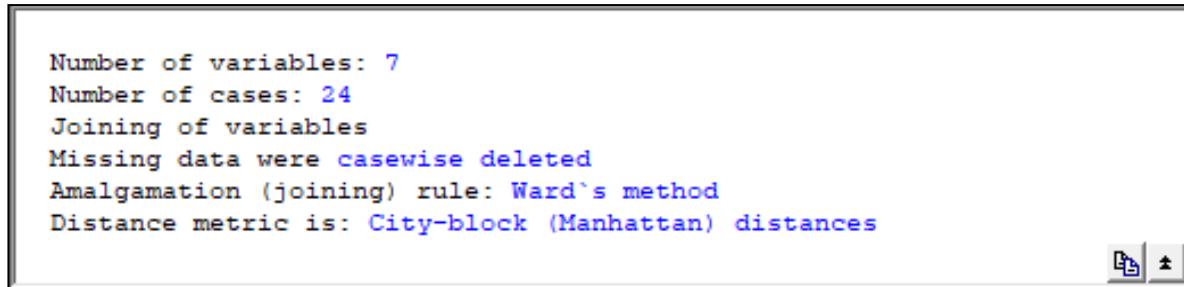


Рис. 1. Показатели метода Joining

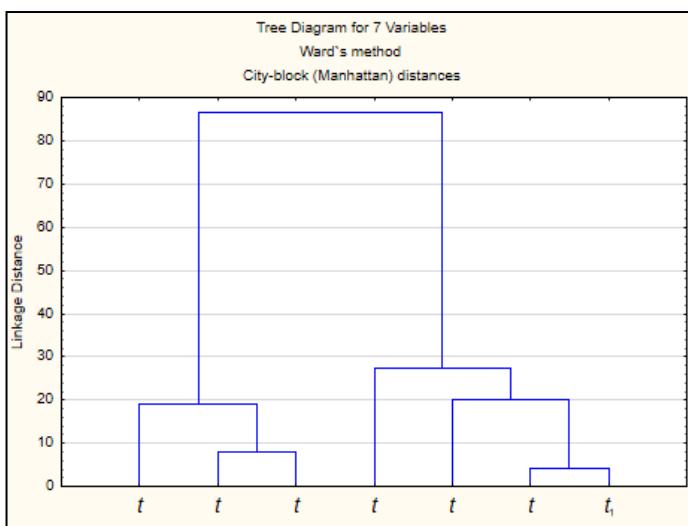


Рис. 2. Вертикальная древовидная дендрограмма

**Заключение.** В результате проведения кластерного анализа, представленного на рис. 2, проведено объединение видов страхования, на котором видно, что на первом шаге были сведены показатели  $t_2$  и  $t_4$  (добровольное медицинское страхование и добровольное страхование от несчастных случаев и болезней соответственно), на втором –  $t_3$  и  $t_5$  (добровольное страхование имущества граждан и добровольное страхование пенсий и ренты) и т.д. Последовательность объединений представлена в таблице 1, первый столбец которой содержит данные о расстоянии для соответствующих кластеров, а каждая строка показывает состав кластера на данном шаге классификации.

Таким образом, на основании данных о страховой квартальной отчетности в период с 2014 по 2019 гг., отображающих выплаты по договорам страхования в страховых организациях совместной федеральной и иностранной собственности, проведен расчет относительных показателей экономической деятельности.

Таблица 1

Последовательность объединения кластеров

linkage distance	Amalgamation Schedule (стандартизация) Ward's method City-block (Manhattan) distances						
	Obj. No. 1	Obj. No. 2	Obj. No. 3	Obj. No. 4	Obj. No. 5	Obj. No. 6	Obj. No. 7
4,021082	$t_1$	$t_3$					
7,996490	$t_2$	$t_4$					
19,19954	$t_2$	$t_4$	$t_6$				
19,94394	$t_1$	$t_3$	$t_7$				
27,31264	$t_1$	$t_3$	$t_7$	$t_5$			
86,62007	$t_1$	$t_3$	$t_7$	$t_5$	$t_2$	$t_4$	$t_6$

**Список литературы**

1. Архипов А. П. Страховое дело / А. П. Архипов. – Москва : Электронный университет, 2008. – 424 с.
2. Гвозденко А. А. Финансово-экономические методы страхования / А. А. Гвозденко. – Москва : Финансы и статистика, 2000. – 180 с.
3. Федеральная государственная служба статистики «Доступная среда». – Текст : электронный // Федеральная государственная служба статистики : официальный сайт. – 2021. – URL: <https://www.gks.ru> (дата обращения: 05.09.21.)
4. Дубров А. М. Многомерные статистические методы / А. М. Дубров, В. С. Мхитарян, Л. И. Трошин. – Москва : Финансы и статистика, 2003. – 352 с.
5. Боровиков В. П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере : Для профессионалов / В. П. Боровиков. – Санкт-Петербург : Питер, 2003. – 688 с.

УДК 519.21

**ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ**

*Шурко И.Л.*, канд. физ.-мат. наук, доц., *Карабутова А.Г.*  
 ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*i.shurko@donnu.ru*

**Введение.** Анализ актуального состояния мировой угледобывающей отрасли показал, что последние годы характеризуются возрастающей ролью угля в экономике России и мира в целом. Данный вывод соответствует прогнозам экспертов Всемирного Института Угля о том, что в ближайшие 25 лет угольная промышленность будет занимать ведущую позицию в энергетическом комплексе и экономике, и спрос на уголь возрастет на 50 %.

Таким образом, все страны заинтересованы в наиболее эффективном и результативном функционировании данной отрасли. Важно выявить

основные проблемы угольной промышленности и наметить пути решения этих проблем, опираясь на опыт лидирующих и отстающих по уровню развития угольной промышленности стран.

Цель исследования – проведение комплексного статистического анализа состояния угледобывающего сектора мировой экономики, угольной промышленности Российской Федерации, оценка перспектив ее дальнейшего развития.

**Постановка задачи.** Поставлены и решены следующие задачи: изучить состояние угольной промышленности в мире; выявить основные проблемы и пути развития угольной отрасли в мире и в России; составить систему показателей угольной промышленности; классифицировать страны по уровню развития угледобывающей отрасли, выявить особенности каждой группы; провести снижение признакового пространства, применив методы факторного анализа; провести анализ динамики добычи угля России, дать прогнозную оценку результатам деятельности угольной промышленности.

**Основная часть.** В качестве исследуемых показателей взяты следующие: потребление угля за 2020 год, млн т; производство угля за 2020 год, млн т; запасы угля на 2020 год, млн т; экспорт угля, млн т. угольного эквивалента; импорт угля, млн т. угольного эквивалента.

Для получения более достоверного и качественного результата кластерный анализ проводился несколько раз с применением различных видов связи и метрик. Было выявлено, что с учетом особенностей данных, наиболее отчетливые группы формируются при использовании иерархического алгоритма кластерного анализа, метода полной связи (метод наиболее удаленных соседей), а также метода Варда. При определении меры сходства объектов в исследовании использованы евклидова метрика и метрика Чебышева.

Результатом стало разбиение исходного множества стран на шесть групп, похожих по своей структуре, представленное в виде дендрограммы (рис. 1).

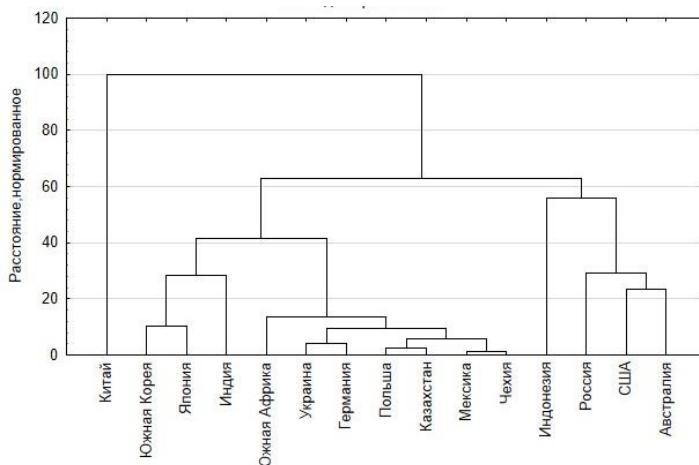


Рис. 1. Дендрограмма для расстояния Евклида и метода полной связи

Характеристика каждой отдельной группы позволила выявить их отличительные особенности и понять вектор развития угольной энергетики стран, входящих в эту группу. Проведенный анализ позволил сделать вывод, о том, что угольная промышленность в России является потенциально значимой отраслью с точки зрения ее развития на мировом рынке. Россия, наряду с Китаем и США, характеризуется наличием возможности достижения высокого экономического роста в данном сегменте. Также страны Дальнего Востока внесут наибольший вклад в прогнозируемый возрастающий спрос на продукцию угледобывающей отрасли.

На втором этапе к исходным данным был применен метод главных компонент, который позволил упростить работу с данными и дал возможность более наглядного представления их внутренней структуры. Исходное признаковое пространство, состоящее из пяти компонент, было преобразовано в двумерное пространство (с использованием первых двух главных компонент, объясняющих 80,44% общей дисперсии). Диаграмма рассеивания для полученных двух факторов и повторное проведение кластерного анализа подтвердило наличие ранее описанной внутренней структуры в данных.

В контексте планирования развития основных показателей угольной промышленности особо важную роль играет статистическая оценка динамики данных показателей, а также формирование их прогнозных значений. Поэтому следующим этапом работы стал анализ динамики развития угольной промышленности в России. В качестве исследуемых параметров взяты ежемесячные показатели добычи угля за период 2013–2020 гг.

В данном временном ряде выявлены тенденция и сезонность, после чего построены различные модели тренда. Анализ этих моделей показал, что наиболее точной и адекватной является квадратичная тренд-сезонная модель.

**Заключение.** Россия занимает лидирующие позиции в мире по добыче угля и входит в тройку стран с наибольшим показателем доказанных запасов угля. Следовательно, она обладает большим потенциалом развития данной отрасли и имеет все шансы достичь высокого экономического роста в данном сегменте. Также подтверждаются прогнозы экспертов об увеличении спроса на уголь и его производства в ближайшие несколько лет. Особенно демонстрируют эту тенденцию азиатские страны и страны Дальнего Востока. Угледобывающая отрасль Индонезии, которая имеет сравнительно небольшие запасы угля, использует заложенный потенциал по максимуму и занимает второе место по добыче и импорту угля среди выделенных групп стран, что может оказать положительное влияние на экономику страны в будущем.

Анализ динамики добычи угля указывает на тенденцию к увеличению данного показателя и говорит о том, что в ближайшие несколько лет добыча угля увеличится в среднем на 3% и продолжит расти, что говорит о перспективности развития отрасли и необходимости особого внимания к решению её проблем, построения траектории её развития с целью наибольшего экономического роста всех государств, обладающих особыми для этого предпосылками.

### **Список литературы**

1. Палаткина Л. С. Анализ и прогноз потребления каменного угля в основных регионах и странах мира в период до 2035 г. / Л. С. Палаткина, Ю. А. Палаткин, К. И. Дьяченко. – Текст: электронный // Журнал «Уголь». – 2017. – №2. – С. 34-42. – URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/022017.pdf> (дата обращения: 05.03.2021).
2. Шурко Г. К. Практикум по дисциплине «Статистический анализ временных рядов» : учебное методическое пособие / Г. К. Шурко, И. Л. Шурко, Е. А. Тюканько, М. И. Хмелина. – Донецк : ГОУ ВПО «ДонНУ», 2017. – 175 с.
3. Салиенко Е. К. Формирование системы статистических показателей для оценки и управления деятельностью субъектов угольной промышленности / Е. К. Салиенко // Международный теоретический и научно-практический журнал «Вестник Финансового университета». – 2011. – № 6 – С. 66.

# ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

## *Аналитическая химия*

УДК 543.94+681.586.773:638.166

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАСТАЗНОГО ЧИСЛА В МЕДЕ МЕТОДОМ ПЬЕЗОКВАРЦЕВОГО МИКРОВЗВЕШИВАНИЯ**

*Аркадьева А.В., Никулина А.В.*, канд. хим. наук

ФГБОУ ВО «Воронежский университет инженерных технологий», г. Воронеж, РФ  
*nik\_a\_68@mail.ru*

**Введение.** Ферменты имеют большое значение при определении происхождения, порчи и фальсификации мёда. Суммарную активность амилотических ферментов характеризуют диастазным числом – это основной показатель натуральности и зрелости мёда. Чем выше этот показатель, тем лучше мёд [1].

Цель работы являлась разработка ферментативно-сенсориметрического метода определения диастазного числа в меде.

**Основная часть.** Ферментативно-сенсориметрическое определение диастазного числа в меде основано на том, что при добавлении меда к раствору крахмала (анализируемый раствор), присутствующие в натуральном меде ферменты способны расщеплять крахмал до глюкозы. Так как влагоудерживающие свойства глюкозы выше чем у крахмала, то содержание воды в равновесной газовой фазе (РГФ) над анализируемым раствором после расщепления крахмала меньше, чем до гидролиза крахмала. Содержание воды в РГФ, отобранный над анализируемым раствором (проба) фиксировали методом пьезокварцевого микровзвешивания.

Определение проводили на мультанализаторе газов «МАГ-8». Ввод пробы – инжекторный. Так как определяемым веществом равновесной газовой фазы была вода, то для модификации пьезокварцевых сенсоров выбраны пленки с повышенным сродством к воде: 4 пленки поливинилпиролидона, гидроксиаппатит (ГА) с разной нанесенной массой: ГА -2 мкг, ГА – 5 мкг, ГА – 3 мкг, ГА – 4 мкг. Оценку содержания воды в пробе оценивали по площади визуального отпечатка РГФ.

В качестве объектов анализа были выбраны: цветочный мед из магазина, цветочный мед, купленный на рынке, гречишный мед из магазина и гречишный мед, приобретенный на рынке, а также инвертируемый сироп. Исследуемые образцы меда были приобретены зимой и имели примерно одинаковую влажность (около 17 %, определяли рефрактометрически), что исключало влияние влажности меда на

результаты анализа. Инвертируемый сироп был приготовлен в лабораторных условиях с такой же влажностью (17 %). Диастазное число образцов меда устанавливали фотоэлектроколориметрически в соответствии с методикой, описанной в ГОСТ 34232-2017 [2].

Оптимизировано время гидролиза раствора крахмала ферментами меда при температуре 40 °С (оптимальная температура, применяемая при определении диастазного числа нормативными методами) [2]. Установлено, что после 20 мин гидролиза площадь визуального отпечатка РГФ изменяется не значительно. Для оценки диастазного числа в медах служило отношение площадей «визуального» отпечатка РГФ, отобранных над анализируемым раствором в начальный момент времени и после термостатирования в течение 20 минут  $S_0/S_{20}$ . Составлена шкала соотношения  $S_0/S_{20}$  и диастазного числа меда, установленного нормативными методами [2].

Разработанный метод экспресснее нормативных методов (время анализа составляет 25 минут по сравнению с альтернативным методом, время проведения эксперимента которого 45 минут). Экспрессен, не требует дополнительных реагентов.

**Заключение.** Разработан ферментативно-сенсориметрический метод определения диастазного числа меда.

#### **Список литературы**

1. Влияние диастазы на качество меда и человеческий организм URL.: <https://mwob.com.ua/archive/index.php/t-1002.html>
2. ГОСТ 34232-2017. Мед. Методы определения активности сахаразы, диастазного числа, нерастворимых веществ [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200157440>

УДК 543.061

## **ЭЛЕКТРОННЫЙ НОС ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ АВИАЦИОННЫХ МАСЕЛ**

*Белоусов Н.С., Верхов С.В.,  
Кочетова Ж.Ю., д-р геогр. наук, доц.,  
Кравченко А.А., канд. техн. наук, доц.*

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ  
*zk\_vva@mail.ru*

**Введение.** Электронный нос – система из множества датчиков (физических, химических, физико-химических), которые работают одновременно и имитируют нюх собаки. Обработку сигналов множества

датчиков в основном проводят с применением искусственного интеллекта, который с вероятностью 75–100 % может отличить один единственный запах от всех остальных. Вероятность правильного принятия решения зависит от сложности детектируемой многокомпонентной газовой смеси и количества датчиков в электронном носе.

В настоящее время с применением электронных носов получены «отпечатки запахов» для многих химических веществ (например, аммиака, различных спиртов, кислот, эфиров, альдегидов, ароматических соединений и др.) [1, 2]. С помощью сложных электронных носов, состоящих из десятков сенсоров, распознают тончайшую фальсификацию спиртных напитков, кофе, лекарственных препаратов, ароматических масел; диагностируют заболевания по запаху выдыхаемого воздуха, от кожи, биологических жидкостей; идентифицируют взрывчатые и наркотические вещества [3, 4]. Для того, чтобы качественно и количественно проанализировать состав сложных смесей веществ традиционными химическими методами, нужна сложная дорогостоящая аппаратура, высококвалифицированные специалисты и много времени. Электронный нос можно обучить отличать любые запахи и распознавать малейшие отклонения состава анализируемых газовых смесей от эталонных образцов. Чем дольше и разнообразнее «тренировки» искусственного носа, тем надежнее и точнее будет распознавание ими запахов. При обучении моделируют различные ситуации, которые могут возникнуть в реальной жизни (погодные условия, механические воздействия, маскирующие вещества, шумы и др.).

Актуален вопрос экспресс-диагностики качества горюче-смазочных материалов, в том числе определения степени отработки авиационных масел, установления внесения необходимого количества присадок для восстановления их качества. Такой подход позволит повысить эффективность применения авиационных масел и безопасность эксплуатации техники.

**Основная часть.** На данном этапе целью нашей работы было создание электронного носа для распознавания марок авиационных масел. Сенсоры электронного носа, который использовали в работе, называются пьезокварцевые микровесы. Они представляют собой тонкую кварцевую пластину с постоянной собственной частотой колебаний. Если на поверхности пластины осаждаются молекулы газов (адсорбируются), то частота ее колебаний уменьшается на величину  $\Delta F$  (Гц). Чем больше осажденных молекул, тем больше  $\Delta F$ . Пластины кварцев покрывают тонкими пленками сорбентов. Сорбенты каждой пластины должны отличаться по сорбционному сродству к индивидуальным молекулам газа или группе родственных соединений: одна пленка лучше адсорбирует полярные вещества, другая – неполярные, третья – универсальная (сорбирует все молекулы), четвертая – высоко чувствительная к кислотам

или спиртам и т.д. При этом электронному носу не важно, какие именно молекулы сорбирует та или иная пленка сорбента. Важны различия в величинах  $\Delta F$  каждого сенсора при экспонировании его в парах различных авиационных масел [5].

Количество сенсоров может быть различным (от 2 до нескольких сотен). Оно подбирается экспериментально и зависит от сложности распознаваемой газовой смеси веществ и требуемой точности проведения анализа. При этом надо понимать, что чем сложнее система, тем она дороже и тем менее надежны ее эксплуатационные характеристики. При выходе из строя одного сенсора необходима его замена и новая настройка всех микровесов в системе. Мы начали эксперимент с трех сенсоров, модифицированных разнополярными сорбентами – полиэтиленгликолем-2000 (ПЭГ-2000), родамином-6Ж (Р6Ж) и полидиметилсилоксаном (ПДМС). И этого оказалось достаточно для распознавания марок авиационных масел.

Анализировали 7 проб авиационных масел различных марок. Каждое масло нагревали до 40 °C, чтобы повысить интенсивность испарения летучих веществ из масел. При комнатной температуре авиационные масла имеют слабый запах, что затрудняет анализ. Каждое масло исследовали с помощью трех сенсоров 10 раз в течение двух минут. Фиксировали  $\Delta F$  каждого сенсора, время окончания сорбции ( $\tau$ , с), время половинной сорбции ( $\tau_{1/2}$ , с). Время окончания сорбции для отдельных марок масел может быть меньше 2 мин, что является их качественной характеристикой, индивидуальностью марки масла. Время половинной сорбции – это время от начала взвешивания молекул газов, соответствующее  $\frac{1}{2}$  аналитического сигнала. В таблице представлены средние значения измеряемых показателей.

Как видно из таблицы, для каждого авиационного масла есть свои соотношения аналитических сигналов сенсоров, модифицированных разнородными сорбентами. Это связано с тем, что химический состав масел различных марок, а также входящих в них присадок, сильно отличается. Для обучения нейронной сети все полученные данные (50 измерений) вводили в нейронную сеть. Для тестирования исследовали 8 проб авиационных масел, две марки из них повторялись. Нейросеть безошибочно распознала все марки исследуемых образцов.

Таблица

Параметры сорбции летучей фракции авиационных масел на трех пьезосенсорах с различными сорбентами

Авиационное масло	$\Delta F$ (2 мин), Гц			$\tau_{1/2}$ , с			$\tau$ , с		
	ПЭГ-2000	Р6Ж	ПДМ С	ПЭГ-2000	Р6Ж	ПДМ С	ПЭГ-2000	Р6Ж	ПДМ С
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ИПМ-10	754	219	65	15	5	до 5	>120	80	15
СМ-4,5	58	53	64	до 5	до 5	10	>120	>120	>120

Продолжение таблицы

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
МС-8П	133	47	487	60	20	15	>120	>120	>120
МС-20	492	968	129	20	30	до 5	>120	>120	105
ЛЗ-240	120	128	74	до 5	до 5	10	15	20	>120
АМГ-10 (новое)	182	814	1222	10	20	20	>120	>120	>120
АМГ-10 (после полета)	221	818	1157	5	15	35	>120	>120	>120

**Заключение.** Предложенный электронный нос на основе трех пьезокварцевых микровесов, модифицированных пленками различных сорбентов, позволяет в течение 2,5 мин устанавливать соответствие пробы авиационного масла определенной марке. Для интенсификации запаха авиационные масла необходимо нагревать до температуры 40 °C, для анализа достаточно 1–2 см<sup>3</sup>, не требуются дорогостоящие реактивы и оборудование. Таким образом, разработка электронного носа для тест-диагностики качества авиационных масел является перспективным направлением аналитического приборостроения.

### Список литературы

1. Пат. RU 2208785, С2. Способ идентификации коньяка / Т.А. Кучменко, Ж.Ю. Кочетова, Я.И. Коренман. – № 2001117676/13; заявл. 25.06.2001; опубл. 20.07.2003.
2. Пат. RU 2193770, С1. Способ создания матрицы сенсоров для определения основного компонента газовых выбросов мебельной фабрики / Т.А. Кучменко, Ж.Ю. Кочетова, Я.И. Коренман. – № 2001117675/28; заявл. 25.06.2001; опубл. 27.11.2002.
3. Кучменко Т.А. Установление грубой фальсификации коньяка с применением матрицы пьезосенсоров / Т.А. Кучменко, Ж.Ю. Кочетова, Е.В. Федорова, Л.П. Бондарева, Ю.К. Шлык, Я.И. Коренман // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2003. – № 1 (272). – С. 66 – 69.
4. Кучменко Т.А. Применение матрицы пьезосорбционных датчиков для анализа газовых этанолсодержащих смесей / Т.А. Кучменко, Ж.Ю. Кочетова, Е.В. Федорова, Л.П. Бондарева, Ю.К. Шлык, Я.И. Коренман // Журнал прикладной химии. – 2003. – Т. 76. – № 5. – С. 764 – 770.
5. Кучменко Т.А. Пример решения идентификационных задач в методе пьезокварцевого микрозвешивания смесей некоторых органических соединений / Т.А. Кучменко, А.А. Шуба, Н.В. Бельских // Аналитика и контроль. – 2012. – Т. 16. – № 2. – С. 151–161.

## ПОВЫШЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОСТИ ПЬЕЗОКВАРЦЕВОГО МИКРОВЗВЕШИВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ТОКСИКАНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФИЛЬТРОВАНИЯ ПАРОВ

*Лисицкая Р.П.*, канд. техн. наук, доц., *Шабельский В.С.*  
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского  
и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ  
*lisitskaya\_raisa@mail.ru*

**Введение.** Органические токсиканты (фенол, толуол, анилин) являются сопутствующими компонентами воздуха рабочей зоны предприятий мебельной, лакокрасочной промышленности, производства полимерных материалов. Среди летучих ароматических веществ, содержание которых в воздухе контролируется, эти соединения относятся к группе устойчивых токсикантов (ПДК анилина в воздухе рабочей зоны 0,1 мг/м<sup>3</sup>, фенола – 0,3 мг/м<sup>3</sup>, толуола – 50 мг/м<sup>3</sup>) [1]. Надежное их определение на уровне предельно допустимых концентраций – важная задача аналитической химии.

По межфазному распределению в сорбционных системах газ–пленка полимерных сорбентов разных классов накоплен обширный экспериментальный материал [2, 3]. Решение проблемы селективного определения органических токсикантов в газовой смеси возможно методом пьезокварцевого микровзвешивания с предварительным фильтрованием паров.

**Основная часть.** Установлены закономерности сорбции паров фенола, толуола и анилина на пленочных сорбентах на основе алкилоксида. В качестве модификатора электродов пьезокварцевого резонатора (сенсора) применяли толуольные растворы смеси триоктилфосфиноксида (ТОФО) и полистирола (ПС) в массовых соотношениях 2:1. Выбрана оптимальная масса пленки сорбента ( $m_{пл}$ , мкг) на электродах сенсора.

Для повышения селективности пьезокварцевого микровзвешивания паров фенолов в смесях с толуолом или анилином применено «воздушное фильтрование». Способ заключается в том, что в ячейку детектирования перед сенсором помещают фильтр, модифицированный селективным на фенолы сорбентом (смесь 4-аминоантипирина и ПС). Полистирол выполнял функцию подложки, улучшающей структуру пленки в волокнах ткани фильтра. Сорбция проводилась в статических условиях из насыщенных относительно анализаторов воздушных смесей.

Для оптимизации условий фильтрования и детектирования получены максимальные сигналы сенсоров при сорбции ( $\Delta F_c$ , Гц) и десорбции ( $\Delta F_d$ , Гц) веществ, кинетические профили взаимодействия анализаторов с пленками

на фильтре и электродах пьезорезонатора, на основании которых выбрано время фиксирования сигнала сенсора при различных сочетаниях сорбентов. При анализе смесей фенола и толуола в соотношениях 1:1; 1:2 и 2:1 наблюдалась последовательная сорбция компонентов смеси. По величине времени сорбции  $\tau_{1/2}$  идентифицированы компоненты смеси ( $\tau_{1/2}$  толуола 2 мин;  $\tau_{1/2}$  фенола 13 мин): в течение 10 мин от начала сорбции на сенсоре сорбируется толуол, т.к. фенол в течение этого времени удерживается покрытием фильтра. При достижении химического равновесия на пленке фильтра сенсор реагирует на пары фенола. Время  $\tau_{1/2}$  смеси (9 мин) совпадает со временем удерживания фенола в пленке фильтра. Аналогичные данные получены для смесей фенола и анилина (табл.).

Таблица

Сорбция фенола, толуола и анилина из смесей на сенсорах, модифицированных растворами ТОФО и ПС (n=3; P=0,95)

$m_{пл.}$ , мкг	$\Delta F_c$ , кГц	$\Delta F_d$ , кГц	$\tau_{1/2}$ толуола/анилина, мин	$\tau_{1/2}$ фенола, мин
Смесь фенола и толуола 1:2				
$4,80 \pm 0,02$	$2870 \pm 25$	$2850 \pm 28$	$1,8 \pm 0,1$	$13,2 \pm 0,3$
$4,75 \pm 0,01$	$2510 \pm 20$	$2510 \pm 25$	$2,0 \pm 0,1$	$12,7 \pm 0,3$
Смесь фенола и анилина 1:2				
$4,20 \pm 0,02$	$1940 \pm 20$	$1960 \pm 20$	$3,0 \pm 0,2$	$13,2 \pm 0,2$
$4,40 \pm 0,01$	$2050 \pm 22$	$1980 \pm 25$	$3,2 \pm 0,2$	$13,0 \pm 0,3$

Установлено, что пары толуола и анилина не удерживаются выбранными сорбентами на фильтре, в отличие от фенола. Применение селективного на фенолы фильтра позволяет раздельно детектировать фенолы и толуол или фенолы и анилин в смесях.

**Заключение.** Разработаны способы раздельного определения органических токсикантов на уровне предельно допустимых концентраций с применением предварительного фильтрования паров в воздушной смеси с применением пьезокварцевых весов. Способы рекомендованы для анализа воздуха рабочих мест.

### Список литературы

- Характеристики загрязняющих веществ. Справочник / Сост. Костылева Н.В., Рогачева Н.Л. – Пермь: ФГБУ УралНИИ «Экология», 2017. – 284 с.
- Кучменко Т.А. Применение метода пьезокварцевого микрозвзвешивания в аналитической химии / Т.А. Кучменко.– Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. технол. акад., 2001. – 280 с.
- Лисицкая Р.П. Сорбция паров фенола и толуола на тонких пленках алкилоксидов / Р.П. Лисицкая // Актуальные проблемы адсорбции и катализа: матер. II Всероссийской конф. с междунар. участием (Иваново, 28–30 июня 2017 г.) – Плес: Изд-во ФГБОУ ВО Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2017. – С. 103-105.

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ ДИСТАНЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ГРУНТА

*Минакова Т.А.*, канд. хим. наук,  
*Минаков Д.А.*, канд. физ.-мат. наук, доц.,  
*Вист В.В., Служенко И.Н.*  
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского  
и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ  
*tatiana\_bor\_vrn@mail.ru*

**Введение.** Проблема дистанционного определения типа грунта представляет большой интерес для сельского хозяйства, мелиорации, экологического мониторинга, при оценке состояния и качества земельных угодий и составлении кадастра земель. Развитие современных беспилотных летательных аппаратов открывает широкие перспективы их использования для дистанционного исследования Земли. Для решения этой задачи необходимо оснащение беспилотных летательных аппаратов различными датчиками, и в том числе оптическими дистанционными зондами, в основе работы которых лежит метод спектроскопии диффузного отражения в видимой и ближней инфракрасной (ИК) области [1, 2].

В связи с этим целью данной работы была оценка спектральных данных для выявления типа грунта с помощью дистанционного зонда в лабораторных условиях.

**Основная часть.** Для решения поставленной задачи были подготовлены три образца грунта (песок, глина, чернозем).

Образцы грунта были просеяны и высушенены в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре  $105\pm2$  °C (согласно ГОСТ 5180-2015 [3]).

Исследования образцов проводились методом спектроскопии диффузного отражения в видимом и ближнем ИК диапазоне (380 – 1000 нм). Лабораторная установка для дистанционного исследования спектров отражения создана на базе волоконного спектрометра AvaSpec-ULS4096CL-EVO (AVANTES B.V., Нидерланды). Схема установки представлена на рис. 1 и состоит из волоконного спектрометра AvaSpec-ULS4096CL-EVO, подключенного к компьютеру, и объектива F810SMA-543 (THORLABS, США), который соединен с спектрометром с помощью многомодового волокна.

На первом этапе исследования были получены спектры отражения образцов грунта в видимом и ближнем ИК диапазоне (380–1000 нм) (рис. 2).

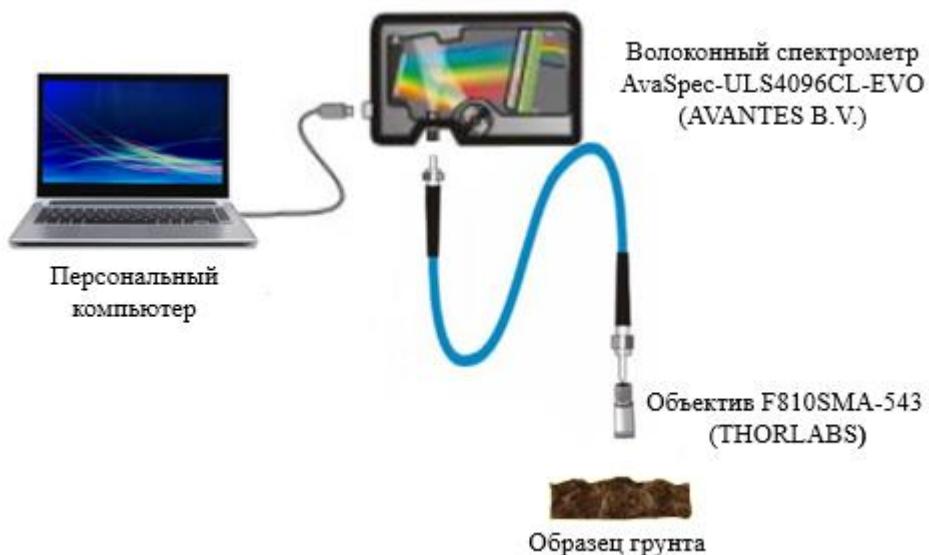


Рис. 1. Схема лабораторная установка для дистанционного определения типа грунта

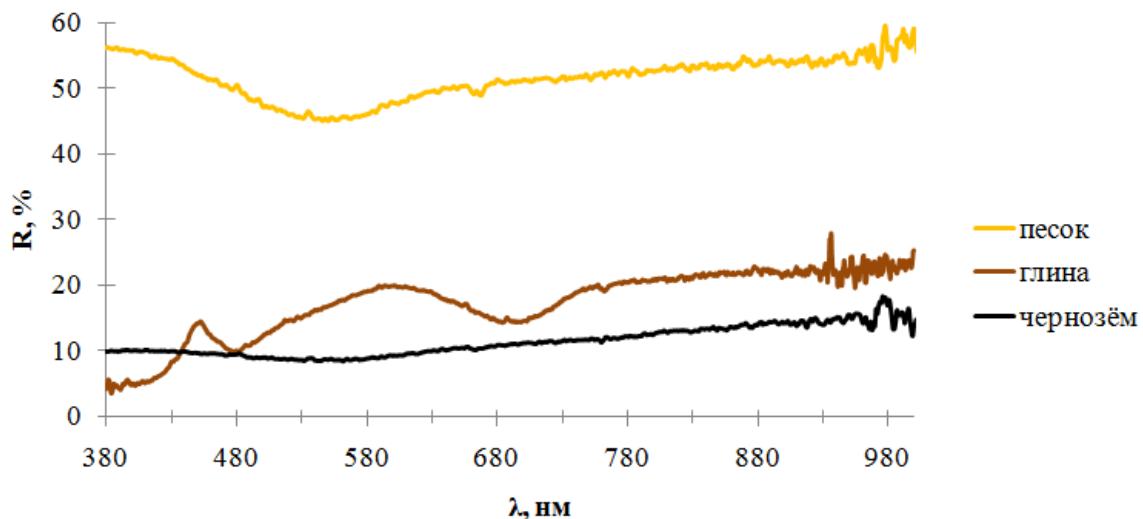


Рис. 2. Примеры спектров отражения разного типа грунта в видимом и ближнем ИК диапазоне

Затем с помощью разработанного программного обеспечения на базе нейронной сети [4] было проведено обучение и тестирование полученной мультиспектральной информации. Установлено, что вероятность правильного распознавания типа грунта приближается к единице. Интерфейс программы представлен на рис. 3.

**Заключение.** Таким образом, предложенный метод позволяет с высокой точностью проводить дистанционное определение типа грунта в лабораторных условиях, что в дальнейшем может быть использовано при создании спектрального дистанционного зонда для полевых измерений.

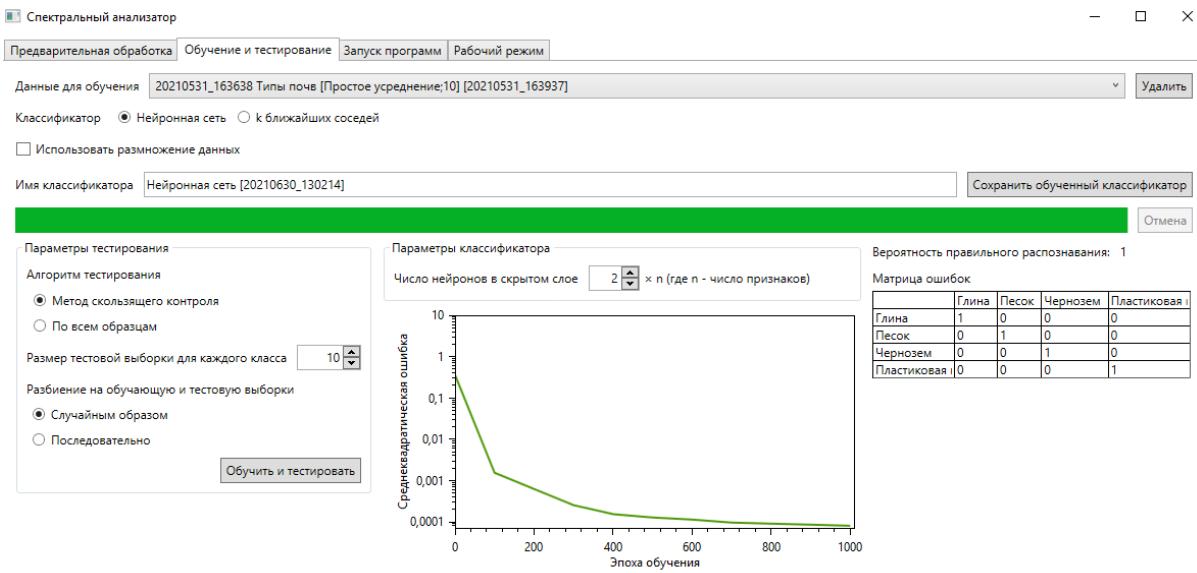


Рис. 3. Распознавание типа грунта с помощью программного обеспечения на базе нейронной сети

## Список литературы

1. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии / П. Кронберг – пер. с нем. – М.: Мир, 1988. – 343 с.
2. Stenberg B., ViscarraRossel R. A. Diffuse Reflectance Spectroscopy for High-Resolution Soil Sensing / B. Stenberg, R. A. Viscarra Rossel // Proximal Soil Sensing, Progress in Soil Science. Springer Science+Business Media B.V., 2010. – Р. 29-47.
3. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – Введ. 2016. – 04.01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 20 с.
4. Сирота А.А. Смешанные ядерные оценки многомерных распределений и их применение в задачах машинного обучения для классификации биологических объектов на основе спектральных измерений / А.А. Сирота, А.О. Донских, А.В. Акимов, Д.А. Минаков // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 4. – С. 677-691.

УДК 66.061.352

## ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭКСТРАКЦИИ ТЕОБРОМИНА ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ПРИМЕРЕ ИВАН-ЧАЯ

**Мокшина Н.Я.<sup>1</sup>,** д-р хим. наук, доц.,  
**Пахомова О.А.<sup>2</sup>,** канд. хим. наук, доц.,  
**Нечепоренко Д.А.<sup>1</sup>, Соколова А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ,

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», г. Елец, РФ  
*moksnad@mail.ru*

Чай – один из самых распространенных по потреблению после воды напитков в мире. Он оказывает благотворное влияние на здоровье

человека, предотвращает сердечнососудистые, онкологические, нейро-дегенеративные заболевания, диабет и другие [1]. При этом крайне важно предотвратить фальсификацию чайной продукции, контролируя содержание отдельных компонентов различными физико-химическими методами.

Извлечение алкалоидов из растительного сырья – это вариант массообменного процесса «жидкость-твердое». В качестве сырья, содержащего теобромин, был изучен кипрей узколистный (иван-чай, фаза цветения). Актуальным направлением интенсификации извлечения теобромина из различных видов растительного сырья можно считать применение безопасных органических растворителей, которые отвечают всем требованиям «зеленой» экстракции.

Благодаря уникальным физико-химическим, конструкционным и технологическим свойствам полимерные материалы находят широкое применение в качестве экстрагентов [2, 3]. Учитывая экологическую и экономическую целесообразность, нами изучены двухфазные системы на основе блок-сополимера «Плуроник Р-123». Это торговая марка блок-сополимеров этиленоксида и пропиленоксида, которые состоят из центрального относительно гидрофобного блока из полипропиленоксида, фланкированного гидрофильными блоками из этиленоксида [4].

Для ускорения процесса извлечения теобромина из растительного сырья поддерживали перепад концентрации веществ внутри системы за счет периодичности подачи порций растительного сырья в фазу экстрагента и интенсивным перемешиванием. На этапе экстракции теобромина из иван-чая установили оптимальную концентрацию блоксополимера «Плуроник», его температуру, массу чая и длительность перемешивания (таблица).

Максимальное извлечение теобромина из иван-чая достигается при концентрации экстрагента  $0,25 \text{ г}/\text{см}^3$ . Применение более насыщенного раствора «Плуроника» приводит к его расслаиванию, потере однородности и не позволяет применять в качестве экстрагента. Установлено, что осложнение при получении достоверных данных возникает из-за различной набухаемости сырья, что ведет к большему расходу экстрагента. Объем поглощённого экстрагента зависит от типа растительного сырья и степени его измельчения. В результате экстракции установлено, что теобромин извлекается из растительного сырья на 95 %.

Таблица

Зависимость извлечения теобромина от концентрации экстрагента и температуры

$C_{\text{экстрагента}}, \text{г}/\text{см}^3$	Содержание теобромина, мг/100 г сырья	$T, {}^\circ \text{C}$	Содержание теобромина, мг/100 г сырья
0,15	21	70	25
0,20	33	80	46
0,25	56	95	56

В ходе эксперимента учли факт набухаемости сырья и предварительно добавляли к растительной фракции экстрагент в количестве, которое удерживается сырьем. Такой способ позволяет максимально полно извлечь алкалоиды из растений. Подбор оптимальной фракции измельчения растений позволил установить, при каком размере частиц будет наблюдаться наиболее эффективное извлечение (0,6 мм для иван-чая). Эффективность массообмена напрямую зависит от площади поверхности контактирующих фаз. При этом слишком тонкое измельчение сырья в отдельных случаях может ухудшить характеристики диффузационного процесса из-за сильного набухания стенок клеток растительного сырья.

В последние два десятилетия в мире отмечен активный интерес к новому, интенсивно развивающемуся методу разделения сложных смесей – капиллярному электрофорезу, позволяющему анализировать ионные и нейтральные компоненты различной природы с высокой экспрессностью и уникальной эффективностью [5, 6]. В работе нами регистрировались электрофореграммы, проверялась правильность автоматической разметки пиков, с помощью программного обеспечения «Эльфоран», идентифицировались компоненты иван-чая. В ходе электрофоретического анализа получена электрофореграмма иван-чая, по которой рассчитывали количество теобромина, перешедшего в раствор после экстракции (рис.).

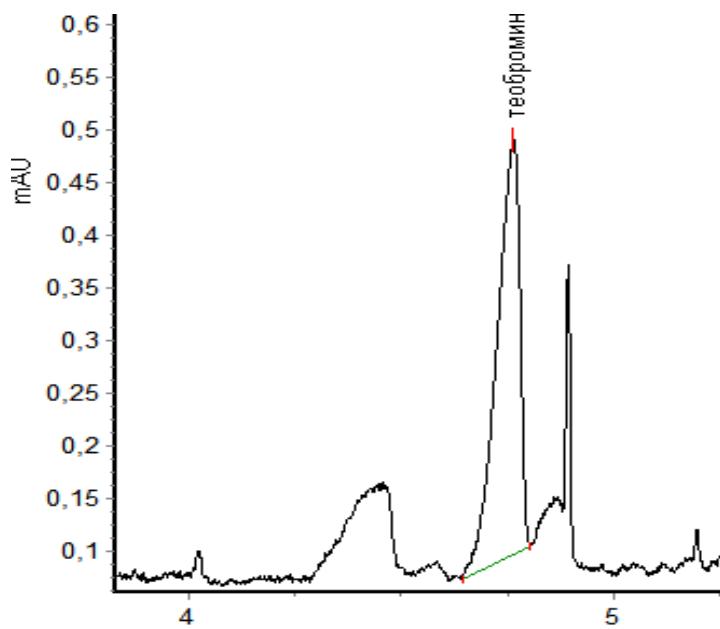


Рис. Электрофореграмма иван-чая

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что блоксополимер «Плуроник» является эффективным для извлечения теобромина. Применение этого безопасного органического полимера позволяет получать ценные компоненты даже из отходов чайного производства.

Поскольку комплексы теобромина с «Плуроником» весьма устойчивы, то в перспективе можно создавать лекарственные средства и биологические добавки в качестве структур, способных осуществлять транспорт биологически активных веществ *in vitro* и *in vivo*.

### **Список литературы**

1. Яшин Я.И. Чай. Химический состав чая и его влияние на здоровье человека / Я.И. Яшин, А.Я. Яшин. – М.: Транслит, 2010. – 160 с.
2. Мокшина Н.Я. Экстракционные системы на основе N-винилформамида для извлечения и разделения циклических аминокислот / Н.Я. Мокшина, В.М. Шкинев, О.А. Пахомова, Г.В. Шatalов, Б.Я. Спиваков // Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах. – 2020. – Т. 492-493, № 1. – С. 13-17.
3. Мокшина Н.Я. Экстракционно-электрофоретическое определение ванилина в водных растворах и энергетических напитках с применением полимеров на основе N-винилформамида / Н.Я. Мокшина, О.А. Пахомова, Г.В. Шatalов, М.С. Лавлинская // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2017. – Т. 60, вып. 8. – С. 13-19.
4. Бондарь О.В. Мембранотропные свойства конъюгатов блок-сополимеров этилен- и пропиленоксида с янтарной кислотой / О.В. Бондарь, А.В. Сагитова, Ю.В. Бадеев, Ю.Г. Штырлин, Т.И. Абдуллин // Биологические мембранны. – 2013. – Т. 30, № 2. – С. 147–156.
5. Карцова Л.А. Возможности и ограничения различных режимов капиллярного электрофореза для количественного определения катехинов и кофеина в черном и зеленом чае / Л.А. Карцова, О.В. Ганжа, А.В. Алексеева // Журнал аналитической химии. – 2010. – Т.65, № 2. – С. 212-217.
6. Хасанов В.В. Анализ энергетических напитков методом капиллярного электрофореза / В.В. Хасанов, Ю.Г. Слижов // Журнал аналитической химии. – 2013. – Т.68, № 4. – С. 385-389.

УДК 543. 421(075.8)

## **УНИФИКАЦИЯ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ РТУТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ИЗ СУСПЕНЗИЙ И ЭМУЛЬСИЙ**

***Рокун А.Н.*, канд. хим. наук, доц.**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*rokun502@donnu.ru*

Вследствие высокой токсичности ртути, биодоступности, подвижности и высокого коэффициента биоаккумуляции необходимо определение ее содержания во всех средах: почвах, воздухе, водах, а также в углях, нефтепродуктах, пищевых продуктах и других объектах.

Общепризнано, что лучшим методом определения ртути является атомно-абсорбционная спектроскопия с применением техники холодного

пара. Однако недостатком данного и других современных методов, является необходимость растворения образцов проб перед измерением. Стадия растворения проб является длительной и есть риск потери анализа во время предварительной обработки.

Необходима разработка быстрых и надежных процедур пробоподготовки для определения ртути. Одним из способов устранения этого недостатка, экономии времени и повышения надежности заключается в использовании супензионных подходов.

В данной работе представлены разработанные методики определения ртути в почвах, пищевых продуктах, углях, нефтепродуктах, исключающие стадию растворения пробы. Разработанные методики основаны на восстановлении соединений ртути непосредственно из суспензии используемой твердой пробы или из эмульсии жидкой пробы боргидридом натрия, хемосорбционном концентрировании путем отгонки образовавшейся атомарной ртути в поглотительный раствор и последующем атомно-абсорбционном определении ртути в поглотительном растворе на анализаторе ртути с применением восстановителя хлорида олова(II).

Применение разработанной методики концентрирования позволяет исключить использование сертифицированных дорогостоящих стандартных образцов состава различных объектов, необходимых в любых неразрушающих методах контроля, а калибровку выполнять с использованием водных стандартов. Методика позволяет проводить определение ртути в различных объектах по одной и той же градуировке. С целью интенсификации сорбционного концентрирования рекомендуется использование ультразвука.

Разработанные методики апробированы при решении экологических проблем региона.

УДК 543.94+681.586.773:637.074

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЬЕЗОКВАРЦЕВОГО МИКРОВЗВЕШИВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЛОМБИРА**

**Тимохина В.В., Никулина А.В.,** канд. хим. наук

ФГБОУ ВО «Воронежский университет инженерных технологий», г. Воронеж, РФ  
*nik\_a\_68@mail.ru*

**Введение.** На сегодняшний день проблема идентификации жира, примененного при производстве молочных продуктов остается важной. В июле этого года Роскачество исследовало шоколадный пломбир 20 торговых

марок, из которых только один соответствовал всем требованиям ГОСТа 31457-2012 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия» [1]. Следовательно, актуальна разработка доступных методов аутентификации масла при производстве пломбира.

Цель работы: разработать ферментативно-сенсерометрический метод аутентификации масла, примененного при производстве пломбира.

**Основная часть.** Отличие настоящего пломбира от мороженого с заменителем молочного жира оценивали по отношению площадей «визуальных отпечатков» равновесной газовой фазы, отобранной над объектами анализа (РГФ) до и после гидролиза. Гидролиз проводили при температуре  $23 \pm 1$  °С в присутствии медицинской желчи и ферментативного препарата с активностью панкреатической липазы 6000 Е.

Продуктами распада жиров при ферментативном гидролизе являются глицерин и жирные кислоты. Замена липидов в анализируемом образце глицерином приводит к уменьшению паров воды в РГФ. При этом состав жиров разной природы определяет различное время, необходимое для расщепления липидов, т.к. гидролиз сливочного масла протекает быстро, а у пальмового масла наблюдается индукционный период в начале реакции.

Для пьезокварцевого микровзвешивания РГФ использовали анализатор газов МАГ-8. Модификаторы сенсоров выбирали по их наибольшей селективности к воде.

**Заключение.** Разработан ферментативно-сенсерометрический метод аутентификации масла, примененного при производстве пломбира. Сделанные выводы совпадают с результатами, полученными нормативными методами. Метод экспрессен (время анализа совместно с пробоподготовкой 10 минут), не требует сложного оборудования и дополнительных реагентов.

## Список литературы

1. ГОСТ 31457-2012 Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия // Межгосударственный стандарт: официальный сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096085> (дата обращения: 10.05.2021)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ОДНОМ ОПЫТЕ КОМПОНЕНТОВ СМЕСИ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА И СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ЦЕРИМЕТРИЧЕСКИМ ТИТРОВАНИЕМ

*Стетсик В.В.*, канд. хим. наук, доц., *Матвиенко О.А.*,

*Цыбулько В.А.*, канд. физ.-мат. наук, доц..

ГОУ ВПО Донецкий национальный университет, г. Донецк, ДНР

v.stetsik@donnu.ru

**Введение.** Рассматриваемая смесь встречается в техногенных объектах, поэтому некоторое ускорение ее анализа весьма актуально. Применение смешанного титрования дает экономию времени на этапе пробоподготовки и самого титрования. В работе в качестве окислителя рассмотрено соединение церия, имеющее по сравнению с перманганатом калия значительно большую устойчивость и используемое в качестве первичного стандарта.

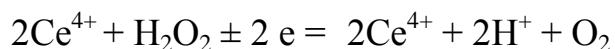
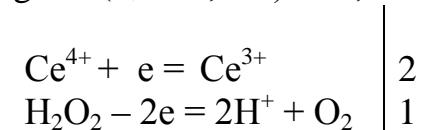
**Основная часть.** Построить кривые титрования 100 мл смеси (0,06 М  $\text{H}_2\text{O}_2$  + 0,15 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) смешанным титрантом (0,1 М  $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$  + 0,1 М  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  + 0,7 М  $\text{HNO}_3$ ). Подобрать способы регистрации конечных точек окислительно-восстановительного и осадительного титрования (КТТ).

В работе использована методика моделирования с математической программой Maple, описанная в [1]. Необходимые константы взяты из широко применяемых справочников по аналитической химии [2, 3].

$\text{Ce}^{4+}$  сильный окислитель (в азотной кислоте стандартный потенциал полуреакции можно принять 1,61 В), в системе протекают параллельно реакции окисления пероксида водорода и осаждения сульфата бария.

Константа равновесия окислительно-восстановительной реакции достаточно большая, что подтверждает полноту оттитровывания  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

$$\lg K = (1,61 - 0,682) \cdot 2 / 0,0591 = 31,404; K = 2,54 \cdot 10^{31}.$$



Очевидно, в процессе сначала окончится окислительно-восстановительное титрование (КТТ при 120 мл), потом – осадительное (КТТ при 150 мл). Наиболее просто зарегистрировать 1-ую КТТ по исчезновению желтой окраски  $\text{Ce}^{4+}$ .

Для регистрации 2-ой КТТ есть несколько способов. После 1-ой КТТ добавить в раствор ацетат натрия для создания ацетатного буфера и применить ионоселективный электрод на барий [4]. Или можно после 1-ой КТТ добавить раствор аммиака для создания аммиачного буфера и в щелочной среде использовать индикатор на барий, например, тимолфталексон или метилтимоловый синий (цвет серый-синий) [2].

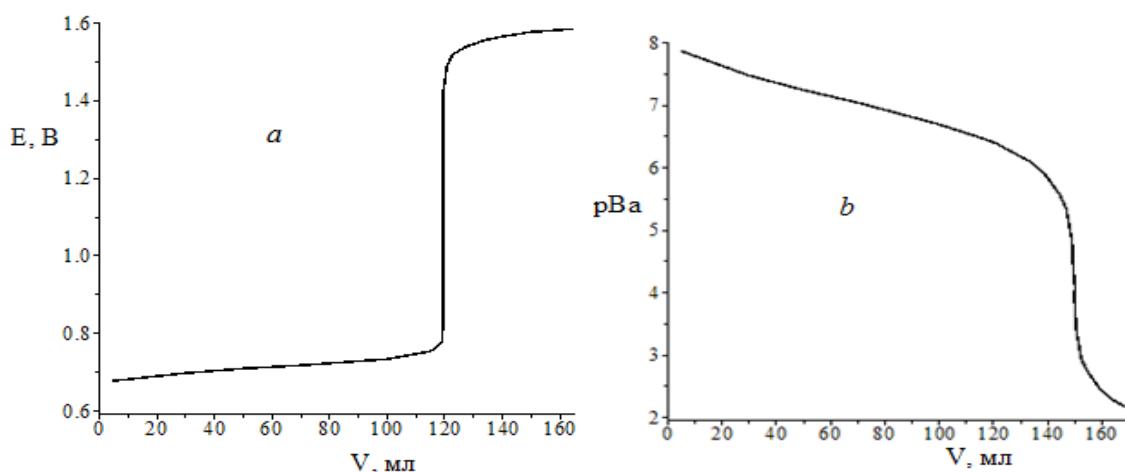


Рис. 1. Кривые окислительно-восстановительного (a) и осадительного (b) титрования в системе: 100 мл (0,06 М  $\text{H}_2\text{O}_2 + 0,15 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ ) + V мл (0,1 М  $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$  + 0,1 М  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  + 0,7 М  $\text{HNO}_3$ )

**Заключение.** Таким образом, предложен способ анализа смеси серной кислоты и пероксида водорода с применением смешанного титрования, дающий заметную экономию времени по сравнению с определением в каждом опыте по одному компоненту, что особенно актуально в серийных анализах.

#### Список литературы

1. Стецик В. В. Расчет и анализ ионных равновесий в аналитической химии: учебное пособие / В. В. Стецик. – Донецк: ДонНУ, 2021. – 257 с.
2. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье. – М.: Химия, 1989. – 448 с.
3. Новый справочник химика и технолога. Химическое равновесие. Свойства растворов / Под ред. С. А. Симановой. – С.-Пб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. – 998 с.
4. Корыта И. Ионоселективные электроды / И. Корыта, К. Штулик: Пер. с чешского. – М.: Мир, 1989. – 272 с.

## ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТНОСТИ САХАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

*Черноусова О.В.*<sup>1</sup>, канд. хим. наук,

*Рудаков О.Б.*<sup>2</sup>, д-р хим. наук, *Рудаков Я.О.*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,  
г. Воронеж, РФ

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,  
г. Воронеж, РФ  
*bvolval@mail.ru*

**Введение.** Цветность отражает степень окрашенности раствора сахара, возникающую в результате присутствия красящих веществ сахарного производства. Согласно государственному стандарту ее выражают в единицах оптической плотности (единицах ICUMSA). Окраска проявляется в результате наличия красящих веществ производства сахара - сложных органических соединений различной степени конденсации и полимеризации и имеющих цвет от светло-желтого до темно-коричневого. Они возникают в результате реакции извлеченных совместно с сахарозой нативных веществ сырья и образующихся в технологическом потоке соединений. Существует ГОСТ 12572-2015 «САХАР. Метод определения цветности», согласно которому для измерений используют фотоколориметрию.

На протяжении последних полутора десятка лет для изучения цветности пищевых продуктов активно используется метод цифровой цветометрии (ЦЦМ) [1]. Для химического анализа ЦЦМ применяется уже порядка 30 лет [2, 3]. Также этот метод внедряется в фармацевтической химии [4], для анализа строительных материалов [5] и в экологии [6]. В последних исследованиях применяют цифровые фотокамеры и сканирующие устройства, в т.ч. для определения цвета полупродуктов сахарного производства [7]. Надо отметить, что экспрессный метод ЦЦМ при помощи мобильных устройств для контроля цветности сахара не применялся ранее.

Цель работы – изучение возможности определения цветности сахара с помощью ЦЦМ с использованием мобильных устройств. В качестве объектов анализа использовали несколько образцов сахара различных категорий (табл. 1). Из них три образца – кусковой сахар, два образца – кристаллический сахар, один образец – тростниковый сахар.

**Основная часть.** В работе использовали следующее оборудование и приборы: рефрактометр ИРФ-454 Б2М, спектрофотометр КФК-3КМ, смартфон Huawei P Smart. Взвешивали образец на технических весах массой  $50 \pm 0,1$  г, переносили в коническую колбу на  $250 \text{ см}^3$ , добавляли  $50 \text{ см}^3$  дистиллированной воды с  $\text{pH}=7,0$  (контроль по  $\text{pH}$ -метру),

растворяли сахар, затем фильтровали в сухую колбу. На рефрактометре определяли сухие вещества (ГОСТ 31896-2012). Затем измеряли оптическую плотность в кювете 3 см, при  $\lambda = 420$  нм относительно дистиллированной воды. Вычисляли цветность в единицах ICUMSA:

$$Ц = \frac{Д_{420} \cdot 100 \cdot 1000}{СВ \cdot ρ \cdot l}, \quad (1)$$

где  $Д_{420}$  – оптическая плотность; 100 – коэффициент перевода на 100 % сухих веществ; 1000 – коэффициент индексации результата в диапазон целых чисел; СВ – массовая доля сухих веществ, %;  $ρ$  – плотность раствора сахара, г/см<sup>3</sup>;  $l$  – толщина поглощающего слоя, см.

Таблица 1  
Объекты анализа

Номер образца	Наименование	Категория, происхождение	Нормативный документ
1	Русский сахар	белый кусковой, ТС2, свекловичный	ГОСТ 33222-2015
2	Селяночка	белый кристаллический, ТС2, свекловичный	ГОСТ 33222-2015
3	Бакалейный стандарт	белый кристаллический, ТС3, свекловичный	ГОСТ 33222-2015
4	Чайкофский	белый кусковой, экстра, свекловичный	ГОСТ 33222-2015
5	Global Village	неррафинированный, тростниковый, кусковой	ТУ 9111-002-15157693-2005

Затем получали изображения растворов сахара и параллельно изображения дистиллированной воды как стандарта на белом фоне в тех же кюветах, используя камеру смартфона. Фотографии обрабатывали с помощью бесплатного программного обеспечения ColorDetector.Android. Версия 1.2.8. Расчеты проводили в трёхкомпонентной цветовой схеме RGB. Цветность сахара в цифровой цветометрии оценивали в процентах от стандарта по формулам (2):

$$\begin{aligned} F'_R &= (F_R(\text{станд}) - F_R(\text{обр}) / F_R(\text{станд}) \cdot 100\% \\ F'_G &= (F_G(\text{станд}) - F_G(\text{обр}) / F_G(\text{станд}) \cdot 100\% \\ F'_B &= (F_B(\text{станд}) - F_B(\text{обр}) / F_B(\text{станд}) \cdot 100\% \end{aligned} \quad (2)$$

По данным, полученным в ходе анализа, цветность в единицах ICUMSA двух образцов сахара удовлетворяет заявленной категории, а два образца имеют значения превышающие нормы цветности в своей категории. Тростниковый сахар ожидаемо имеет высокие значения. В ЦЦМ на изменение цвета сахарного раствора по сравнению с дистиллированной водой больше всего реагирует синяя компонента цветности ( $F'_B$ ), наименее чувствительной является красная компонента цветности ( $F'_R$ ).

Таблица 2

## Результаты определения цветности

№ п/ п	Наименование, категория	Цветность			
		Единица ICUMSA	Норма по ГОСТ 33222-2015	$F'_R$ , %	$F'_G$ , %
1	Русский сахар, ТС2	93,9	104,0	2,7	7,0
2	Селяночка, ТС2	148,6		2,1	9,9
3	Бакалейный стандарт, ТС3	160,6	195,0	9,0	13,9
4	Чайкофский, экстра	96,1	45,0	7,1	11,0
5	Global Village, тростниковый	3656	—	11,2	50,0
					79,5

**Заключение.** С помощью ЦЦМ можно структурировать результаты измерений в электронных базах данных, повысить экспрессность анализа. Использование смартфонов и других цифровых устройств (фотокамер, планшетов) делает метод ЦЦМ мобильным и доступным не только высококвалифицированным специалистам, но и обычному человеку, что является неоспоримым преимуществом этого метода. Но, еще нет критериев, по которым можно оценить соответствие сахара определенной категории, т.к. шкала RGB использована впервые в этой области. Необходимо найти эталон, с которым можно было бы сравнивать цвет сахара, подобно стандартам для оценки цветности других пищевых продуктов (например, пива, растительного масла, воды).

**Список литературы**

1. Байдичева О.В. Цветометрия – новый метод контроля качества пищевой продукции / О.В. Байдичева, В.В. Хрипушин, Л.В. Рудакова, О.Б. Рудаков // Пищевая промышленность. – 2008. – № 5. – С. 20-24.
2. Химченко С.В. Цветометрия в инструментальном и визуальном тест-анализе / С.В. Химченко, Л.П. Экспериандова. Lambert Academic Publishing, 2014. – 220 с.
3. Моногарова О.В. Цветометрия в химическом анализе / О.В. Моногарова, К.В. Осколок, В.В. Апяри // Журнал анал. химии. – 2018. – Т. 73, № 11. – С.857-867. – DOI: 10.1134/S0044450218110063
4. Рудакова Л.В. Возможности применения цифровой цветометрии в фармацевтическом анализе / Л.В. Рудакова, Е.Н. Ветрова, Т.Н. Никитина, М.И. Алехина // Прикладные информационные аспекты медицины. – 2019. – Т. 22, № 3. — С. 104-109.
5. Черноусова О.В. Контроль содержания пигментов в цветных цементах с помощью мобильных устройств / О.В. Черноусова, О.Б. Рудаков, С.О. Садыков // Строительные материалы. – 2020. – № 1. – С.21-26.
6. Байдичева О.В. Определение цветности воды с использованием цифровых технологий / О.В. Байдичева, О.Б. Рудаков, В.В. Хрипушин, Л.Г. Барсукова // Безопасность жизнедеятельности. – 2009. – №1. – С. 23-25.
7. Кульнова Н.Г. Исследование цветовых характеристик полупродуктов сахарного производства / Н.Г. Кульнова, Г.Б. Эгнет, П.Н. Саввин, Н.Н. Лобачева // Вестник Воронеж. гос. унив.-та инж. техн. – 2017. – Т. 79, № 1 (71). – С. 300-304. – DOI: 10.20914/2310-1202-2017-1-300-304.

## ПРИМЕНЕНИЕ МАССИВА ХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ СУБКЛИНИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ РЕСПИРАТОРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У ТЕЛЯТ

*Шуба А.А.<sup>1</sup>*, канд. хим. наук, доц., *Кучменко Т.А.<sup>1</sup>*, д-р хим. наук, проф.,  
*Умарханов Р.У.<sup>1</sup>*, канд. хим. наук, доц., *Черницкий А.Е.<sup>2</sup>*, д-р биол. наук  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,  
г. Воронеж, РФ

<sup>2</sup> ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт  
патологии, фармакологии и терапии», Воронеж, РФ  
*shubaInastya@gmail.com*

Респираторные заболевания у телят первого месяца жизни широко распространены и превалируют по численности над другими видами заболеваний. Особую опасность для здоровья животных и эффективности животноводства представляет субклиническое течение заболевания (наличие патологии и изменения в органах и тканях без явных клинических признаков). Для выявления таких случаев необходимо периодическое проведение скрининга. В условиях фермы наиболее перспективным направлением разработки скрининговых способов диагностики является применение мультисенсорных систем и приборов, в том числе на основе химических газовых сенсоров.

Цель исследования – оценить возможность установления субклинического течения респираторных заболеваний у телят по составу газовой фазы носовой слизи с помощью массива химических сенсоров.

Пробы носовой слизи телят отбирали с помощью стерильных кватчей в индивидуальных упаковках. Анализ газовой фазы над пробами носовой слизи телят проводили на приборе «Диагност-Био-8» (ООО «СНТ», Россия) с массивом 8 пьезокварцевых сенсоров, покрытых различными по природе покрытиями (полимерные, твердотельные наноструктурированные, макромолекулярные). Применили фронтальный способ введения газовой фазы в ячейку детектирования от биопробы. В программном обеспечении прибора фиксировали аналитические сигналы сенсоров на 80 с сорбции, по которым рассчитывали параметры эффективности сорбции  $A_{ij}$  и доли отдельных классов легколетучих соединений в газовой фазе (методом нормировки). Предварительно массив сенсоров обучали по индивидуальным парам летучих соединений для установления чувствительности и селективности микровзвешивания на выбранных покрытиях. Для более точной дифференцировки субклинического течения респираторных заболеваний проводили повторные отборы проб носовой слизи у телят с интервалом 7 дней. Всего было проанализировано 36 проб носовой слизи.

Для установления наличия респираторных заболеваний все животные в каждой точке анализа подвергались тщательному клинико-лабораторному анализу. Проводили клинический осмотр с определением значения по балльной шкале (WRSC), специальные методы (аускультация, спирометрия), для подтверждения наличия воспаления применяли лабораторные методы анализа крови (общий анализ крови, лейкограмма, определение белков воспаления острой фазы – гаптоглобин), бактериологические и молекулярно-генетический метод анализа носовой слизи телят для подтверждения наличия возбудителя в биопробе. По результатам клинико-лабораторных испытаний все животные в каждой точке анализа были разделены на три диагностические группы: 1 – «здоровы со стороны органов дыхания», 2 – «с субклиническим течением респираторных заболеваний», 3 – «с симптомами поражения органов дыхания».

В результате исследований установлены особенности изменения состава газовой фазы над пробами носовой слизи телят при переходе из одной диагностической группы в другую. Наиболее показательным в этом случае является сравнение долей отдельных классов летучих соединений и определение качественного состава газовой фазы над пробами носовой слизи при оценке состояния органов дыхания теленка в динамике.

Установлено, что при стабильно тяжелом состоянии (яркие клинические признаки поражения органов дыхания) и субклиническом течении респираторного заболевания в газовой фазе наблюдаются изменения различных классов летучих соединений в пределах 25 %, что зависит от изменения клинических проявлений (усиление кашля, нарастание дыхательной недостаточности). При улучшении клинического состояния животного при респираторном заболевании с поражением органов дыхания (переход из диагностической группы 3 в группу 2) в процессе лечения значительно (более чем на 15 %) увеличивается доля спиртов, эфиров, алкиламинов, карбоновых кислот в газовой фазе над пробами носовой слизи, при этом уменьшается доля ацеталей, гидроксикислот, ароматических аминов, тяжелых кетонов, что свидетельствует о нормализации метаболических процессов в носовой полости и снижении количества метаболитов патологических микроорганизмов в носовой слизи. При постепенном развитии респираторного заболевания в течение 2-3 недель со стадией субклинического течения в начале изменение состава газовой фазы над пробами носовой слизи тем значительнее, чем активнее местный иммунитет, например, у теленка 2444 происходит динамическое изменение диагностической группы от «здоровы со стороны дыхательной системы» до «с субклиническим течением респираторного заболевания» и обратно, при этом происходит увеличение, а затем уменьшение доли одних и тех же классов ЛОС в газовой фазе над пробой слизи. Для теленка 2666 наблюдалось незначительное изменение состава газовой фазы над пробой носовой слизи (переход из диагностической группы 1 в группу 2) в первые 7 дней с постепенным увеличением доли

гидрокси-кислот, ацеталей к третьей точке контроля и дальнейшим уменьшением доли легких газов и увеличением доли тяжелых кетонов, спиртов, аминов, соответствующих поражению органов дыхания (при переходе из диагностической группы 2 в группу 3). Изменение состава газовой фазы над пробами носовой слизи при переходе из группы «с субклиническим течением респираторного заболевания» в группу «с поражением органов дыхания» характеризуется уменьшением доли легких аминов, карбоновых кислот, ацетокислот на 15–20 % и увеличением доли ароматических, циклических аминов, кислот до 40 % в газовой фазе над пробами носовой слизи.

Для оценки наличия субклинического течения респираторного заболевания у телят по выходным данным массива сенсоров применяли регрессионные методы. Для построения регрессионной модели в качестве обучающего набора выбраны результаты анализа 20 проб носовой слизи и метод проекций на латентные структуры (ПЛС). Для увеличения робастности модели выбраны пробы, взятые в разные точки мониторинга. В качестве исходных переменных выбраны выходные данные массива сенсоров – аналитические сигналы массива сенсоров, параметры эффективности сорбции, доли отдельных классов легколетучих соединений. Входные данные автошкалировали для снижения влияния дисперсии отдельных сигналов на результаты моделирования. Далее число переменных последовательно сокращали, исключая малозначимые для прогнозируемого фактора (номер диагностической группы) по значениям взвешенных регрессионных коэффициентов, приводящих к уменьшению ошибки прогнозирования и более четкому разграничению проб из разных диагностических групп на графике счетов. Построена оптимальная ПЛС-модель прогнозирования диагностической группы по результатам анализа газовой фазы над пробами носовой слизи массивом сенсоров с погрешностью 30 % (рис.).

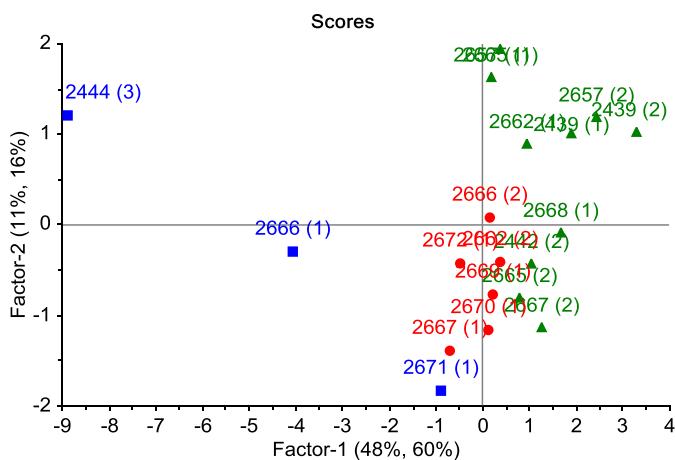


Рис. График счетов ПЛС-модели прогнозирования диагностической группы по выходным данным массива сенсоров (квадрат – группа 1, круг – группа 2, треугольник – группа 3)

Наиболее значимыми параметрами для прогнозирования диагностической группы из всей совокупности выходных данных сенсоров являются параметры эффективности сорбции для твердотельных наноструктурированных сенсоров. По результатам проверки данной модели на проверочной выборке проб ( $n=16$ ) наблюдалось ошибочное отнесение проб между группами 2 и 3, что связано с ухудшением состояния животного в следующей точке контроля и развитием бронхопневмонии.

Таким образом, возможно установление субклинического течения респираторного заболевания у телят и оценка динамики изменения состояния органов дыхания (ухудшение, улучшение, без изменений) по составу газовой фазы над пробами носовой слизи с применением массива химических сенсоров.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 18-76-10015.*

УДК 543.066

## СРАВНЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВИНЦА С ОРГАНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАТЕЛЯМИ

*Щепина Н.Д.<sup>1</sup>, канд. хим. наук, доц., Карап A.B.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ГОУ ВПО Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГУ НИИ «Реактивэлектрон, г. Донецк, ДНР

*shnatalina@mail.ru*

**Введение.** Свинец относится к 1-му классу опасности и входит в перечень приоритетных загрязнителей объектов окружающей среды. В настоящее время для определения токсичных металлов в различных объектах, в частности для экспрессного скринингового анализа, широкое применение нашли тест-методы. Одним из недостатков существующих методик является низкая чувствительность и точность визуального детектирования интенсивности окрашивания исследуемых образцов.

Более универсальным и объективным является использование инструментальных методов детектирования. Одним из таких методов является цветометрическое детектирование. В цветометрическом методе детекции аналитическим сигналом служит электронное изображение окрашенного объекта, полученное с использованием цифрового устройства например, сканера, фотоаппарата и др. [1, 2].

*Целью данной работы является исследование и сравнение метрологических характеристик цветометрического определения свинца с*

органическими комплексообразователями 4-(2-пиридилазо)резорцином, сульфарсазеном, дитизоном, арсеназо III.

**Основная часть.** При выборе органических реагентов для цветометрического определения свинца руководствовались следующими характеристиками:

1. Реагент должен иметь как можно больший коэффициент молярного поглощения.
2. Реагент должен быть максимально селективным.
3. Для расширения спектра возможностей анализа различных объектов выбирали реагенты, образующие устойчивые комплексные соединения в различных диапазонах pH.
4. Окраска реагента и комплексного соединения на бумаге должна различаться ( $\lambda \geq 60$  нм).

Из широкого спектра органических реагентов, применяемых для фотометрического определении свинца нами были выбраны, 4-(2-Пиридилазо)-резорцин (ПАР), арсеназо III, сульфарсазен (табл. 1).

Таблица 1  
Характеристика комплексных соединений свинца с исследуемыми реагентами органическими реагентами [3]

Реагент	pH	$\epsilon * 10^{-4}$	Состав комплексного соединения	Цвет органического реагента	Цвет комплексного соединения
Сульфарсазен	9-10	0,76	1:1	оранжевый	красно-коричневый
Арсеназо III	4-8	2,60	1:1	розовый	синий
ПАР	4-11	4,0	1:1	желтый	вишневый
Дитизон	5-11	6,68	2:1	зеленый	карминово-красный

Видно, что представленные в табл. 1 реагенты можно использовать в широком диапазоне pH (4-11). Комплексные соединения свинца с этими реагентами имеют достаточно высокие молярные коэффициенты поглощения и существенное различие окраски по сравнению с реагентом.

Методика цветометрического определения свинца с исследуемыми органическими реагентами была следующей. На хроматографическую бумагу наносили органический реагент и после того, как бумага просохнет, на области, пропитаные реагентом, поочередно наносили с помощью дозатора по 5 мкл растворов свинца с различной концентрацией. После развития окраски образец сканировали на планшетном сканере EPSON TX 409 с разрешением 600 dpi (точек/дюйм). Обработку изображений проводили с использованием программы Adobe Photoshop CS6 – определяли интенсивность компоненты цвета в системе RGB. Полученные результаты статистически обрабатывали и строили

градуировочные зависимости интенсивности компонент цвета каждого из каналов (R, G или B) от концентрации свинца. Выбирали канал, для которого наблюдалось наибольшее уменьшение интенсивности цвета ( $\Delta I_{(макс)}$ ) при увеличении концентрации свинца и находили аппроксимирующую функцию с использованием программного обеспечения для анализа научных данных SciDAVis.

Результат получали в виде уравнения, соответствующего аппроксимирующей функции. Молярные коэффициенты цветометрических функций рассчитывали методом наименьших квадратов в области линейной зависимости функций от концентрации свинца. Метрологические характеристики цветометрического определения свинца в виде комплексных соединений с исследуемыми органическими реагентами представлены в табл. 2.

Таблица 2  
Метрологические характеристики цветометрического определения свинца  
в виде комплексных соединений с органическими реагентами

Реагент	Интервал определяемых содержаний мг/л	$\Delta I_{max}$	${}^*\varepsilon_{цвет.}$ л/моль·см	${}^{**}\varepsilon_{фот}$ л/моль·см [3]	${}^{***}C_{min}$ , мг/л
Дитизон	0,01–1	102	$8,84 \cdot 10^6$	$6,68 \cdot 10^4$	0,005
	2–64		$4,36 \cdot 10^4$		
Арсеназо III	0,5–4	32	$2,49 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^4$	3,5
	4–100		$1,85 \cdot 10^4$		
Сульфарсазен	0,05–20	70	$5,39 \cdot 10^5$	$0,76 \cdot 10^4$	0,01
	20–100		$4,06 \cdot 10^4$		
ПАР	0,05–10	59	$5,34 \cdot 10^5$	$4,0 \cdot 10^4$	0,01
	10–100		$2,94 \cdot 10^4$		

${}^*\varepsilon_{цвет}$  – молярный коэффициент цветометрической функци;

${}^{**}\varepsilon_{фот}$  – молярный коэффициент поглощения;

${}^{***}C_{min}$  – предел обнаружения

Из таблицы 2 видно, что чувствительность цветометрического определения практически на 2 порядка выше, чем у фотометрического метода – значение величин молярных коэффициентов в 10-100 раз больше по сравнению с данными, полученными фотометрическим методом. Наибольшая чувствительность определения наблюдается при определении свинца с дитизоном, наименьшая – с арсеназо III. Все исследованные органические реагенты недостаточно селективны, поэтому их применение возможно с применением маскирующих агентов. Низкий предел обнаружения ( $C_{min}=0,005$  – 0,01 мг/л) позволяет контролировать содержание свинца в водах, почвах, пищевых продуктах и других объектах окружающей среды.

**Заключение.** Таким образом, проведено сравнение метрологических характеристик определения свинца с органическими реагентами, с использованием цветометрического детектирования. Показана более высокая чувствительность цветометрического определения свинца с использованием 4-(2-пиридиазо)резорцина, сульфарсазена, дитизона, арсеназо III по сравнению с фотометрическим методом.

### **Список литературы**

1. Иванов В.М. Возможности и перспективы развития цветометрического метода в аналитической химии / В.М. Иванов, О.В. Моногарова, К.В. Осколок // Журн. аналит. химии. – 2015. – Т. 70, № 10. – С. 1011-1025.
2. Моногарова О.В. Цветометрия в химическом анализе / О.В. Моногарова, К.В. Осколок, В.В. Апяри // Журн. аналит. химии. – 2018. – Т. 73, № 11. – С. 857-867.
3. Полянский, Н.Г. Свинец: монография / Н.Г. Полянский; ред. Н.А. Филиппова – М.: Наука, 1986. – 357 с.

# **Биохимия и органическая химия**

УДК 547.288.4:541.124/541.123

## **МИЦЕЛЛЯРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ДИМЕРНЫХ КАТИОННЫХ ПАВ, ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ ГИДРОКСИЛЬНОЙ ГРУППОЙ, В РЕАКЦИЯХ ЩЕЛОЧНОГО ГИДРОЛИЗА**

**Белоусова И.А.**, канд. хим. наук, с.н.с.,

**Зубарева Т.М.**, канд. хим. наук, **Разумова Н.Г.**, **Гайдаш Т.С.**,

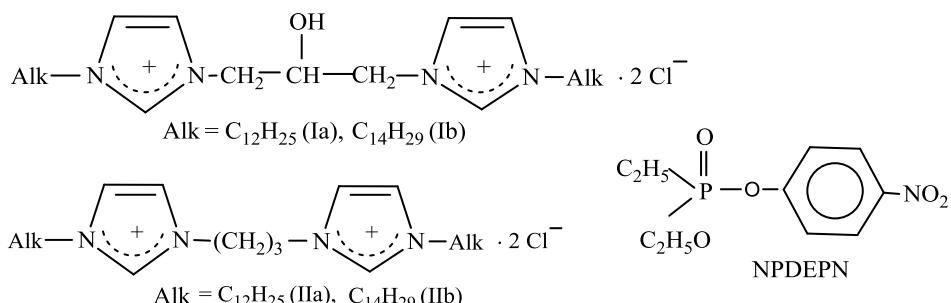
**Прокопьева Т.М.**, канд. хим. наук, с.н.с., **Михайлов В.А.**, канд. хим. наук  
ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии

им. Л.М.Литвиненко», г. Донецк, ДНР

*v\_mikhailov@yahoo.com*

В последнее десятилетие особое внимание исследователей привлекает дизайн и изучение физико-химических свойств уникального класса соединений – димерных поверхностно-активных веществ (Gemini surfactant, GS). В отличие от мономерных ПАВ димерные характеризуются: 1) аномально низкими критическими концентрациями мицеллообразования (cmc, M); 2) более эффективно понижают поверхностное натяжение воды; 3) образуют различные по строению мицеллярные агрегаты; 4) имеют низкие температуры Крафта и т.д. Такой комплекс физико-химических характеристик делает весьма привлекательным применение GS для конструирования высокореакционноспособных организованных микрогетерогенных систем для утилизации/детоксикации субстратов-экотоксикантов.

В настоящей работе изучены мицеллярные эффекты GS, функционализированных гидроксильной группировкой, с варьируемой длиной алкильного «хвоста» (Ia, Ib) в реакциях щелочного гидролиза 4-нитрофенилдиэтилфосфоната (NPDEPN). Влияние функционализированных GS сопоставимо с таковыми для ПАВ, в которых мостиковыми фрагментами (спейсером) выступают метиленовые звенья (IIa, IIb).



Поскольку растворимость GS зачастую невелика, для количественной оценки мицеллярных эффектов и проведения сравнительного анализа использовались сомицеллярные системы «GS–

СТАВ», где СТАВ – цетилtrimетиламмоний бромид, мономерный катионный детергент.

В условиях эксперимента эксперимента щелочного гидролиза протекает по двум параллельным маршрутам: в мицеллярной (m) и водной (w) фазах (см. схему), а наблюдаемые константы скорости возрастают как с увеличением концентрации детергента (рис. 1, a,b), так и pH среды.

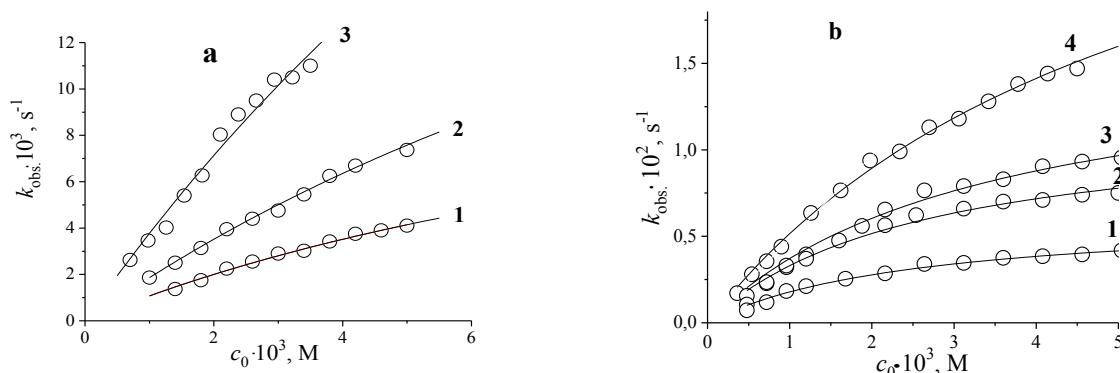
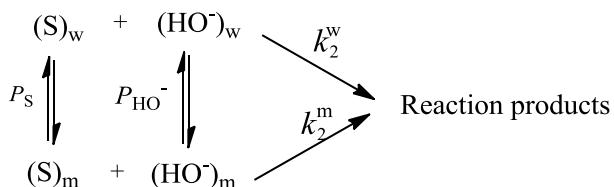


Рис. 1 Зависимость величин  $k_{obs}$ ,  $s^{-1}$  от концентрации ПАВ ( $c_0$ , М) для щелочного гидролиза NPDEPN в сомицеллах GS/СТАВ при разных долях GS (а – GS Ia/СТАВ,  $\chi=0,1$  (1);  $\chi=0,25$  (2);  $\chi=0,5$  (3); б – GS Ib/СТАВ,  $\chi=0,1$  (1);  $\chi=0,25$  (2);  $\chi=0,4$  (3);  $\chi=1,0$  (4); pH = 11,0, вода, 25 °C



Для обработки результатов кинетических измерений была использована псевдофазная распределительная модель (PPM). С учетом схемы наблюдаемая скорость реакции в рамках РРМ описывается следующим выражением:

$$k_{obs} = \frac{\chi(k_2^m/V_m)K_S \cdot K_{HO^-} \cdot c + k_2^w}{(1+K_S c)(1+K_{HO^-} c)} \cdot [OH^-]_0 = \frac{\chi \cdot k_m \cdot K_S \cdot K_{HO^-} \cdot c + k_2^w}{(1+K_S c)(1+K_{HO^-} c)} \cdot [HO^-]_0,$$

где  $\chi$  – мольная доля димерного катионного ПАВ в сомицеллах GS/СТАВ,  $c = c_0 - c_{mc}$ , М ( $c_{mc}$  – критическая концентрация мицеллообразования);  $c_0$  – суммарная концентрация ПАВ;  $V_m$ ,  $M^{-1}$  – парциальный мольный объем ПАВ;  $K_S \approx P_S \cdot V_m$  и  $K_{HO^-} \approx P_{HO^-} \cdot V_m$ ,  $M^{-1}$  – константы связывания субстрата и нуклеофила;  $k_2^w$  и  $k_2^m$ ,  $M^{-1}s^{-1}$  – константы скорости второго порядка, характеризующие нуклеофильность  $HO^-$ -иона в воде и мицеллярной псевдофазе;  $k_m = (k_2^m/V_m)$ ,  $s^{-1}$  – приведенная константа скорости реакции в мицеллярной псевдофазе.

Во всем изученном интервале концентраций полученные кинетические данные адекватно описываются выше приведенным уравнением, а в таблице

представлены соответствующие физико-химические параметры щелочного гидролиза NPDEPN.

Реакции нуклеофильного замещения, в том числе, и процессы щелочного гидролиза эфиров фосфорных, фосфоновых, карбоновых, толуолсульфоновых кислот обычно ускоряются в присутствии как димерных, так и мономерных катионных ПАВ. Концентрирование иона гидроксила положительно заряженной поверхностью мицеллы способствует взаимодействию с солюбилизированным в мицеллярной псевдофазе гидрофобным субстратом. Величина мицеллярных эффектов может быть охарактеризована отношением  $k_2^m/k_2^w$  при  $c = \text{const}$  и  $\text{pH} = \text{const}$  (табл.).

Максимальные катализитические эффекты наблюдаются для сомицелл GS I/СТАВ. Влияние димерных катионных детергентов GS II на скорость реакции щелочного гидролиза существенно меньше, чем сомицелл GS I/СТАВ.

Таблица  
Физико-химические параметры щелочного гидролиза NPDEPN в присутствии  
сомицелл GS I/СТАВ и мицелл GS II, pH 11,0, 25 °C, вода

ПАВ	$\chi$	смес, М	$K_s, M^{-1}$	$k_m, s^{-1}$	$k_{\text{obs}}^m, M^{-1}s^{-1}$	$k_{\text{obs}}^m / k_{\text{obs}}^w$
GS Ia/СТАВ	0,5	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$273 \pm 25$	2,17	0,92	71
GS Ib/СТАВ	0,5	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$199 \pm 18$	2,35	1,01	77
GS IIa	1,0	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$309 \pm 18$	0,068	0,041	8
GS IIb	1,0	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$166 \pm 12$	0,175	0,105	15
СТАВ	1,0	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$552 \pm 54$	0,112	0,042	15

Примечание: смес определены кинетическим методом. При pH 11,0 величина  $k_{\text{obs}}^w = 1,8 \cdot 10^{-4}, s^{-1}$ , значения  $k_{\text{obs}}^m$  соответствуют максимальным величинам наблюдаемых констант скорости в условиях кинетического эксперимента.

Кинетические закономерности в сомицелях димерных катионных ПАВ, функционализированных гидроксильной группой, аналогичны установленным ранее для взаимодействия гидроксид-иона с NPDEPN в мицелях детергентов различной структуры. Величины смес уменьшаются с ростом длины алкильного «хвоста», т.е. важную роль в мицеллярных эффектах играют гидрофобные свойства ПАВ (ср. GS Ia/СТАВ и GS Ib/СТАВ, GS IIa и GS IIb). Аномально низкие величины смес позволяют достигать одних и тех же скоростей реакции при концентрациях GS существенно меньших, чем для мономерных аналогов. Определяющая роль при этом принадлежит эффектам концентрирования реагентов и изменению нуклеофильной реакционной способности (см. значения  $K_s$  и  $k_2^m$  в таблице). Именно эти два фактора определяют значимость мицеллярного катализа. Гидроксильная группа в мостиковом звене GS I создает дополнительные возможности для межмолекулярных взаимодействий и обеспечивает рост мицеллярных эффектов по сравнению с мономерными детергентами и димерными ПАВ с метиленовыми мостиковыми звеньями.

**ПОДБОР ПАРАМЕТРА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
МЕЖФАЗНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В РЕАКЦИИ АМИНОЛИЗА  
4-НИТРОФЕНИЛОВОГО ЭФИРА N-БЕНЗИЛОКСИКАРБОНИЛ  
ГЛИЦИНА**

*Дорошкевич В.С., Баранова О.В.*, канд. хим. наук, доц.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*kf.bioorg.chem@donnu.ru*

Для межфазно-катализитических (МФК) реакций с разветвленным катализитическим циклом тяжело предвидеть эффективность катализаторов, руководствуясь только общими представлениями о структуре катионной и анионной частей. Для оценки эффективности катализаторов обычно используются величины констант распределения ионов между фазами, экстракции, селективности, а также применяют расчетные методы, с помощью которых можно спрогнозировать активность катализатора исходя из его структурной формулы.

Цель данной работы – предложить количественный параметр оценки эффективности межфазных катализаторов (ониевых солей) в реакциях ацильного переноса в двухфазной системе органический растворитель/водный буферный раствор, а также сопоставить величины констант скорости реакции изучаемых солей с величинами стандартной энталпии образования ионной пары катиона ониевой соли с нуклеофильным реагентом.

Модельная реакция – аминолиз 4-нитрофенилового эфира N-бензилоксикарбонилглицина в двухфазной системе хлороформ/глициновый буферный раствор (рН 10,4). Методика кинетических исследований представлена в работе [1]. Квантово-химические расчеты проводились в рамках теории функционала плотности (DFT) с гибридным функционалом B3LYP. Оптимизация структур исходной и активной форм межфазного катализатора осуществлялась полуэмпирическим методом PM6. Структуры с минимальной энергией использовались в качестве начального приближения для расчетов на уровне B3LYP/6-311++G(d, p), выбор которого обусловлен опубликованными данными об успешном его применении для аммониевых и фосфониевых соединений [2]. Геометрия всех структур катализаторов и образующихся в реакции ионных пар была оптимизирована по всем независимым переменным.

Анализ геометрического строения ионных пар ониевых солей показывает, что, заместители в катионах стремятся к наиболее симметричной конформации с максимальным удалением друг от друга. Атомы водорода в ароматической структуре максимально удалены от ближайших атомов водорода соседних групп. Результаты расчетов междуионных расстояний катализатора, энталпий образования ионов, ионных пар, обмена ионов в ионных парах представлены в таблице.

Таблица

Расчётные величины стандартных энталпий образования ионов, присутствующих в системе ( $H_0$ ), ионных пар ассоциацией ионов ( $\Delta H_1$ ), реакций обмена противоиона катализатора на нуклеофил (глицинат-анион) ( $\Delta H_2$ ), 4-нитрофенолят-аниона на глицинат-ион ( $\Delta H_3$ ) и междуионные расстояния в оптимизированных структурах контактных ионных пар  $d(Q^+—X^-)$

Соединение	$d(Q^+—X^-)$ , Å	Изменение энталпии реакции, кДж/моль		
		$\Delta H_1^0$	$\Delta H_2^0$	$\Delta H_3^0$
$[P(Ph)_4]^+Cl^-$	2.54	-368	38	-142
$[P(Ph)_4]^+Br^-$	2.68	-318	-8	-92
$[P(Ph)_4]^+J^-$	2.76	-251	-71	-29
$[P(Ph)_4]^+Gli^-$	2.19	-326		-100
$[P(Ph)_4]^+OPhNO_2^-4$	2.03	-222	-100	
	2.81	-414	-372	-130
	2.59	-368		-84
	2.47	-285	-84	
$(C_2H_5)_4N^+ Gli^-$	2.16	-435		-113
$(C_2H_5)_3-N^+-CH_2-C_6H_5 Gli^-$	2.37	-389		-84
$(C_2H_5)_4^+ 4-NO_2-C_6H_4O^-$		-318	-113	
$(C_2H_5)_3-N^+-CH_2-C_6H_5 4-NO_2-C_6H_4O^-$		-301	-84	
	2.53			
	2.63			-48

Полученные расчетные величины стандартных энталпий обмена ионной пары катиона катализатора и нуклеофила – глицинат аниона  $\Delta H_2$  сопоставлены с удельными константами скорости реакции в двухфазной системе Установлены симбатные линейные однофакторные зависимости для хлоридных и бромидных ониевых солей, которые описываются уравнениями:

$$\lg\left(\frac{k_n}{C_{кam}}\right) = -(8.3 \pm 1.2) \cdot 10^{-3} \Delta H_{QY} + (1.08 \pm 0.03), r^2 = 0.85 \quad (1)$$

$$\lg\left(\frac{k_n}{C_{кam}}\right) = -(6.5 \pm 0.9) \cdot 10^{-3} \Delta H_{QY} + (0.48 \pm 0.13), r^2 = 0.86 \quad (2)$$

Сопоставляя полученные кинетические данные с расчетными величинами изменения энталпии обмена противоиона катализатора на нуклеофил (глицинат-анион)  $\Delta H_2^0$  установлено, что каталитическая эффективность ониевых солей в межфазнокатализитических процессах аминолиза определяется величиной стандартной энталпии реакции образования «активной формы» катализатора. Эта величина может быть использована как количественный параметр оценки эффективности ониевых солей в экстракционном механизме межфазного катализа. Полученная количественная связь (уравнения (1), (2)) представляет собой готовый полуэмпирический параметр для подбора эффективных катализаторов в реакции аминолиза активированных N-защищенных эфиров аминокислот.

### **Список литературы**

1. Баранова О.В. Изучение экстракционных равновесий в межфазно-катализитической реакции аминолиза активированных эфиров аминокислот / О.В. Баранова, В.С. Дорошкевич // Труды научного семинара памяти профессора, доктора химических наук И.Л. Ходаковского: сборник материалов / под общ. ред. П.П. Гладышева. – Дубна: Гос. ун-т «Дубна», 2017. – 219 с.
2. Оценка каталитической активности хлоридных и бромидных ониевых солей при щелочном гидролизе сложных эфиров аминокислот / А.Н. Шендрик, О.В. Баранова, В.С. Дорошкевич // Журнал органической химии. – 2012. – Т. 48, № 5. – С. 667-670.

УДК 661.666.232;54-732

## **МИКРОВОЛНОВЫЙ СИНТЕЗ КОМПОЗИТНЫХ НАНОСТРУКТУР ГРАФЕН / УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ**

**Заритовский А.Н.,** канд. хим. наук, **Котенко Е.Н.**

ГУ«Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»,  
г. Донецк, ДНР  
*zaritovski@gmail.com, likakot@yandex.ru*

**Введение.** Интенсификация исследований углеродных наноматериалов (фуллерен, углеродные нанотрубки (УНТ), графен и пр.) способствовала получению нового класса трехмерных 3D гибридных

углеродных наноструктур на основе графена, в которых углеродные трубы зафиксированы на графеновой подложке. Синтезированные наноструктуры лишены, большей частью, недостатков, присущих каждому из составляющих конструкционных элементов и проявляют ряд уникальных свойств, открывающих перспективу их широкого практического использования [1, 2].

Так, наноструктурированные гибридные графен / УНТ зарекомендовали себя как высокоэффективный электродный материал устройств для хранения и преобразования энергии (суперконденсаторов) и литий-ионных батарей, в том числе, гибких или сгибаемых, как сенсоры для обнаружения загрязняющих и токсичных веществ (бисфенолов), многоразовые высокоэффективные сорбенты при ликвидации техногенных аварий, связанных с разливом углеводородов, перспективные компоненты гибких датчиков измерения деформации и пр.

**Основная часть.** В настоящей работе исследован каталитический процесс синтеза 3D материалов в условиях микроволновой обработки смеси оксида графита с диоксидом фенолами (резорцином, пирокатехином, гидрохиноном). Выбор микроволнового метода синтеза обусловлен высокой скоростью и эффективностью протекания твердотельных реакций с участием углеродных соединений под воздействием электромагнитного излучения.

Эксперименты проводились в кварцевых ампулах, размещенных в камере модифицированной бытовой мультимодовой микроволновой печи Scarlett с рабочей частотой 2450 МГц и регулируемой мощностью от 200 до 1000 Вт, снабженной устройством для подачи инертного газа и отвода газообразных продуктов реакции.

Смесь оксида графита полученного из графита ГСМ-1, дигидроксибензола и кобальт-никелевого катализатора, взятых в массовом соотношении 1 : 1,5 : 0,5 подвергают микроволновому облучению мощностью 1000 Вт в течение 3 минут (периодически по 1 мин с минутным интервалом). Во всех случаях процессы сопровождаются искрением, быстрым ростом температуры до 600-800 °C, интенсивным газовыделением и значительным увеличением объема реакционной массы.

По данным просвечивающей (ПЭМ) электронной микроскопии, продукты микроволнового каталитического синтеза представляют собой смесь углеродных наноструктур различной морфологии. Основным компонентом этой смеси являются много- и одностенные углеродные нанотрубки различной структурной упаковки и размеров, которые формируют на электронограмме размытое кольцо, характерное для поликристаллических образцов. Во всех случаях установлено образование малослойных графеновых частиц микронных размеров, дающих на электронограммах четкие рефлексы гексагональной структуры. В некоторых случаях образуются скролы, а в случае гидрохинона и фуллерены.

По данным РФА наблюдаемые на дифрактограммах всех образцов рефлексы  $00l$  имеют низкую (по сравнению с пирографитом) интенсивность, к тому же пики  $002$  и  $004$  несимметричны, имеют наплывы и сдвинуты в сторону меньших значений  $2\Theta$ , что свидетельствует о присутствии в образцах менее плотных углеродных фаз. Для определения фазового состава осуществлена процедура деконволюции профиля  $002$  для каждого образца. Основной рефлекс  $002$  на рентгенограммах всех образцов является суперпозицией нескольких дифракционных отражений, каждое из которых характеризуется своим межплоскостным расстоянием. По рассчитанному истинному положению максимума пика  $002$  (по  $2\Theta$ (расч.) для полосы  $004$ ) установлена основная фаза в структуре синтезированных наноуглеродных материалов.

Анализ полученных углеродных материалов представлен на рис. 1–3.

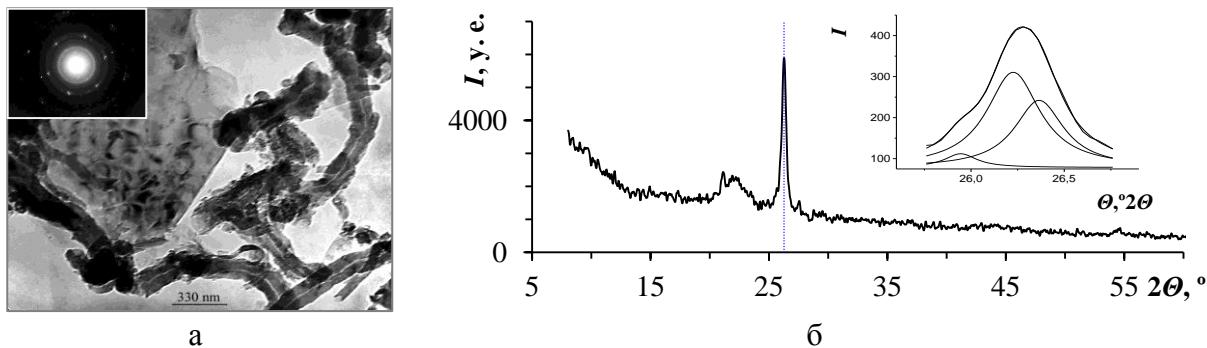


Рис. 1. Результаты исследований образца УМ1 (пирокатехин):

а – ПЭМ-микрофотография; б – Дифрактограмма и деконволюция пика  $002$ .

В результате деконволюции пика  $002$  (рис. 1б) рассчитаны рефлексы при  $2\Theta = 26,226^\circ$  ( $d = 3,3979 \text{ \AA}$ ),  $2\Theta = 26,367^\circ$  ( $d = 3,3803 \text{ \AA}$ ) и  $2\Theta = 25,945^\circ$  ( $d = 3,4142 \text{ \AA}$ ). Полученные межплоскостные расстояния первых двух фаз, соответствуют структурам одно- и многостенных УНТ [3, 4]. Третью фазу можно отнести к структуре турбостратного углерода. Фаза при  $2\Theta(\text{расч.}) = 26,531^\circ$  ( $d_{(002)}(\text{расч.}) = 3,3614 \text{ \AA}$ ) является основной и соответствует структуре многостенных УНТ.

Фазовый состав образцов УМ2 и УМ3 определяли аналогично.

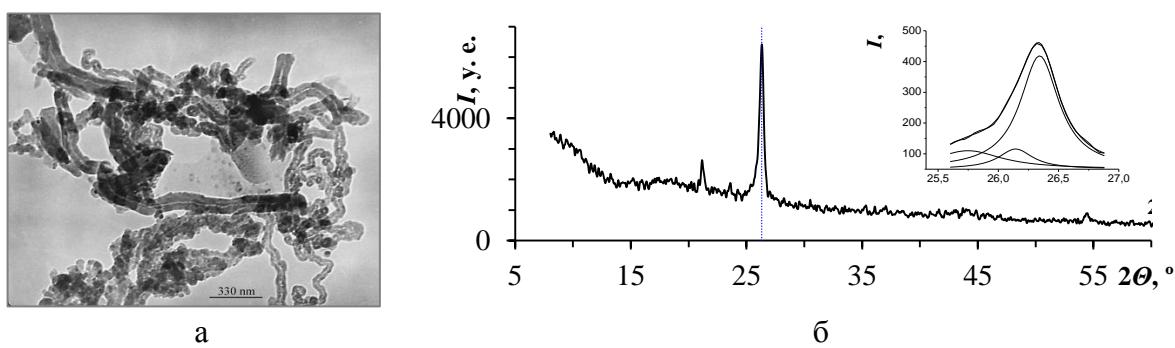


Рис. 2. Результаты исследований образца УМ2 (резорцин):

а – ПЭМ-микрофотография; б – Дифрактограмма и деконволюция пика  $002$ .

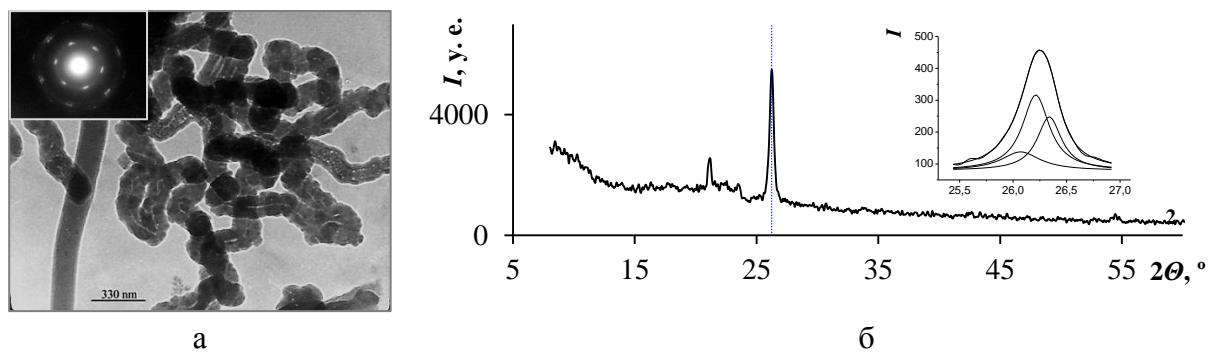


Рис. 3. Результаты исследований образца УМ3 (гидрохинон):  
а – ПЭМ-микрофотография; б – Дифрактограмма и деконволюция пика 002.

Рефлексы при  $2\Theta = 21,16^\circ$  и  $2\Theta = 22,56^\circ$  на дифрактограммах всех образцов, определяются и на рентгенограмме катализатора, что указывает на присутствие в образцах остаточных количеств катализатора.

**Заключение.** Таким образом, по данным ПЭМ и РФА методов анализа микроволновая обработка смеси многоатомных фенолов и оксида графита в присутствии кобальт-никелевого катализатора приводит к образованию 3D композитных наноструктур графен / углеродные нанотрубки. Основными компонентами синтезированных композитов являются многостенные и одностенные УНТ различных размеров, имеющие внешний диаметр до 65 нм и длину, достигающую нескольких десятков микрометров, а также малослойные разориентированные пакеты графеновых нанолистов (турбостратный углерод).

### Список литературы

1. One-pot synthesis of carbon nanotube-graphene hybrids via syngas production / T. Odedairo, J. Ma, Yi Gu, Jiuling Chen // J. Mater. Chem. A. – 2014. – V. 2. – P. 1418-1428.
2. Microwave synthesis of nitrogen-doped carbon nanotubes anchored on graphene substrates / V. Sridhar, I. Lee, Ho-H. Chun, H. Park // Carbon. – 2015. – V. 87. – P. 186-192.
3. Удовицкий В.Г. Методы оценки чистоты и характеристизации свойств углеродных нанотрубок // ФИП ФИП РСЕ. – 2009. – Т. 7, № 4. – С. 351-373.
4. Macroscopic wall number analysis of single-walled, double-walled, and few-walled carbon nanotubes by X-ray diffraction / Don N. Futaba, T. Yamada, K. Kobashi [et al.] // J. Am. Chem. Soc. – 2011. – Vol. 133. – P. 5716-5719.

## К ВОПРОСУ О СОДЕРЖАНИИ ФЛАВОНОИДОВ В НЕКОТОРОМ РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ

*Ищенко А.В.*, канд. хим. наук, доц., *Сибирцева И.А.*

ГО ВО «Донецкий национальный университет экономики и торговли  
имени Михаила Туган-Барановского», г. Донецк, ДНР  
*e-mail: avi.chim22@mail.ru*

**Введение.** Флавоноиды – это мощные антиоксиданты, часто по своей активности превосходящие синтетические антиоксиданты. Они контролируют окислительный процесс и перекисное окисление мембранных липидов.

К флавоноидам относится большая группа веществ вторичного происхождения фенольной природы (cateхины, лейкоантоксианы, флавоны, флавонолы, халконы, аутоантоцианы и др. соединения). Большинство этих соединений являются фенилпроизводными флавана. По своему химическому составу биофлавоноиды являются сложными соединениями с большим количеством реакционных групп, поэтому их химические свойства представлены в литературе достаточно широко.

Многие из флавоноидов проявляют биоактивное и лечебное действие: обладают Р-витаминной активностью, уменьшают хрупкость кровеносных капилляров, усиливают действие аскорбиновой кислоты, оказывают седативное действие, обладают антиоксидантными свойствами. Поэтому актуальным является поиск новых и доступных источников получения этих ценных природных соединений, оказывающих биоактивное воздействие на человеческий организм.

**Основная часть.** В качестве объектов исследования взято нетрадиционное растительное сырье: высушенные листья широко распространенных на Украине плодоносных растений: черной смородины, винограда двух сортов, черноплодной рябины (аронии), ирги, ешты, актинидии, лимонника, – то есть, растений, плоды которых широко известны своим богатым витаминным составом, и которые используются как в повседневном, так и в лечебно-профилактическом питании.

Для количественного определения и качественного анализа флавоноидов нами были получены спиртовые экстракты предварительно высушенного и тщательно измельченного (до 1 мм) растительного сырья.

Экстрагирование флавоноидов из листьев вышеуказанных растений проводили этанолом при нагревании на водяной бане. При этом было установлено, что проводить спиртовую экстракцию флавоноидов кипячением на водной бане более 30 минут нецелесообразно, т.к. это приводит к обратному эффекту – уменьшению экстрагированных флавоноидов, очевидно, в результате их термической деструкции.

Спиртовое извлечение упаривали и разбавляли водой, после охлаждения неполярные вещества (белки, жирные масла, стерины, хлорофилл) выпадали в осадок, который отделяли. Спиртовое извлечение подвергали дальнейшему исследованию. Проводили качественный и количественный анализ.

Для качественного определения биофлавоноидов нами были выбраны две наиболее характерные реакции: это реакция с хлоридом железа (III) и цианидиновая проба. При взаимодействии с хлоридом железа (III) флавоны (рутин, кверцетин, кемпферол) образуют комплексы, окрашенные в зеленый цвет, а флаваноны (дигидрофлавоны) – комплексы, окрашенные в коричневый цвет.

Цианидиновая проба представляет собой реакцию восстановления флавоноидов цинковой пылью в кислотной среде. Флавоноиды при восстановлении магнием или цинком в присутствии концентрированной хлористоводородной кислоты образуют красное окрашивание. Реакция очень чувствительна, основана на восстановлении карбонильной группы и образование антоцианида.

При помощи указанных качественных реакций проводили идентификацию флавоноидов.

Количественное содержание флавоноидов в спиртовых экстрактах растительных объектов определяли известным фотоколориметрическим методом Мурри, основанным на цветной реакции флаванолов с солями алюминия, при этом калибровочный график строили по рутину.

Данные, полученные в результате проведенных исследований, представлены в таблице.

Таблица  
Содержание флавоноидов (рутина) в спиртовых экстрактах листьев различных растительных объектов

№ п/п	Растительный объект (листья)	C, мг/мл
1	черная смородина	5,15
2	виноград «Винный»	5,20
3	виноград «Изабелла»	4,30
4	черноплодная рябина	5,30
5	ирга	2,40
6	йошта	0,50
7	актинидия	2,10
8	лимонник	2,45

**Заключение.** Анализ табличных данных показывает, что исследованное растительное сырье содержит довольно значительные количества флавоноидов, особенно черноплодная рябина (арония), виноград, черная смородина, и, следовательно, является перспективным в плане доступного и дешевого источника получения биофлавоноидов природного происхождения.

## СТЕХИОМЕТРИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРЕХАТОМНЫХ ФЕНОЛОВ С КАТИОН-РАДИКАЛОМ ABTS

**Кравченко Е.М., Одарюк И.Д.**, канд. хим. наук, доц.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*elenagrazhina@gmail.com*

**Введение.** Процессы окисления фенолов, в том числе, в присутствии ферментов оксидаз и пероксидаз, представляют фундаментальный и прикладной интерес [1–3]. Спектрофотометрический метод является одним из наиболее удобных и информативных при исследовании кинетических закономерностей окисления *орт*о-, *пара*-дигидроксибензолов и ряда их производных. В случаях, когда полосы поглощения субстрата и продукта накладываются, получение достоверных кинетических кривых не представляется возможным, что наблюдается для трехатомных и некоторых двухатомных фенолов. Поэтому возникает необходимость поиска дополнительных подходов к получению кинетических данных.

**Основная часть.** В работе предложена оригинальная методика определения многоатомных фенолов в процессе их ферментативного окисления путем селективного окислительно-восстановительного титрования проб реакционной смеси катион-радикалом 2,2'-азино-бис(3-этилбензтиазолин-6-сульфоната) (ABTS<sup>+</sup>). Этот стабильный радикал имеет интенсивную сине-зеленую окраску ( $\lambda_{max} = 414$  нм) и часто используется для определения антирадикальной активности [4, 5]. Его получали путем лакказного окисления ABTS и выделяли методом гель-проникающей хроматографии на колонке с сефадексом G-10, как описано ранее в [6].

Взаимодействие ABTS<sup>+</sup>-радикала с фенолами протекает с высокой скоростью. Продукты окисления фенолов имеют сравнительно низкие коэффициенты экстинкции, то есть, не маскируют сине-зеленую окраску ABTS<sup>+</sup>-радикала. Точка эквивалентности определяется хорошо, что подтверждается предварительными спектрофотометрическими исследованиями. Скорость титрования не влияет на результаты.

Апробацию методики проводили с использованием гидрохинона, при лакказном окислении которого достоверно фиксируются спектрофотометрически и накопление продукта, и расходование субстрата. ABTS<sup>+</sup> взаимодействует с гидрохиноном в мольном соотношении 2,4. Добавки *пара*-бензохинона не влияют на результаты титрования. Кинетическая кривая расходования гидрохинона и величина начальной скорости этого процесса, определенные титrimетрически, близки к таковым при спектрофотометрическом анализе.

Взаимодействие трехатомных фенолов (пирогаллола, галловой кислоты, флороглюцина, 2,3,4-тригидроксибензойной кислоты) с ABTS<sup>+</sup>-

радикалом также характеризуется нецелыми значениями мольных соотношений. Для флороглюцина оно приближается к трем, а для остальных субстратов существенно больше (таблица 1).

При титровании раствора ABTS<sup>+</sup>-радикала растворами трехатомных фенолов спектры реакционной смеси содержат отчетливые полосы поглощения в видимой области, не наблюдаемые при лакказном окислении данных фенолов. Эти полосы в случае исследованных трехатомных фенолов идентичны, смещение в область коротких волн наблюдается только для флороглюцина (табл. 1). Окрашенные продукты стабильны.

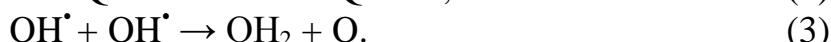
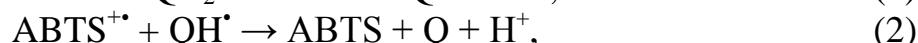
Таблица 1

Мольные соотношения, в которых ABTS<sup>+</sup> реагирует с трехатомными фенолами

Субстрат	v(AH):v(ABTS <sup>+</sup> )	$\lambda_{\max}$ продукта, нм
Пирогаллол	6,3	480
Галловая кислота	6,5	480
2,3,4-тригидроксибензойная кислота	5,4	480
Флороглюцин	3,3	460

В отдельных экспериментах с двухатомными фенолами (пирокатехином, 2,3-, 3,4- и 2,5-дигидроксибензойными кислотами) образование окрашенного продукта не отмечено.

Простейший механизм окисления фенолов катион-радикалом ABTS, который приводится в научных публикациях [7, 8, 9] включает стадии одноэлектронного восстановления последнего (1), а также рекомбинацию феноксильных радикалов с ABTS<sup>+</sup>-радикалом (2) и между собой (3). Реализация этих стадий должна приводить к мольным соотношениям, соответствующим количеству электронов, отдаваемых на окислитель при переходе фенола в хиноидную структуру или другие устойчивые продукты рекомбинации феноксильных радикалов, например, гидрохинон и пирокатехин дают значение, равное примерно двум, а пирогаллол – трем.



По данным масс-спектроскопии, возможно включение фрагментов молекулы ABTS в структуру продуктов при непосредственном окислении флороглюцина и катехина ABTS<sup>+</sup>-радикалом [8], а также при окислении лигнина в присутствии системы лакказа-ABTS [10]. То есть, образование продуктов конъюгации ABTS<sup>+</sup>-радикала с первичными продуктами окисления многоатомных фенолов не исключено и, следовательно, представленная схема является упрощенной.

**Заключение.** Взаимодействие ABTS<sup>+</sup>-радикала с многоатомными фенолами в условиях эксперимента протекает с высокой скоростью, что

позволяет использовать эту реакцию для титриметрического анализа. Значения мольных соотношений не объясняются схемой, предполагающей только стадии одноэлектронного восстановления ABTS<sup>+</sup>-радикала, механизм этого процесса более сложный.

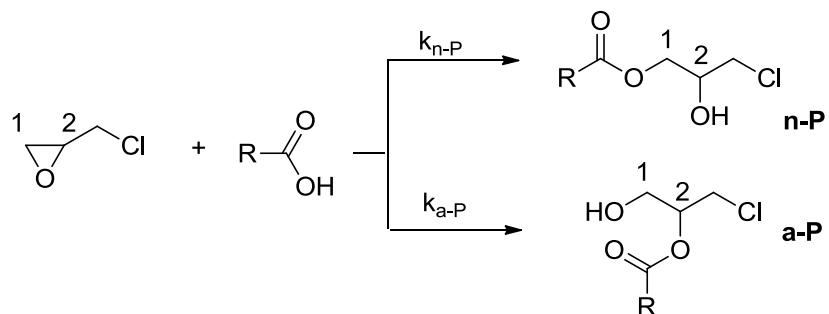
### Список литературы

1. Куликова Н. А. Использование базидиальных грибов в технологиях переработки и утилизации техногенных отходов: фундаментальные и прикладные аспекты (обзор) / Н. А. Куликова [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2011. – Т. 47. – С. 619-634.
2. Arregui, Leticia. Laccases\_structure, function, and potential application in water bioremediation / Leticia Arregui et al // Microbial Cell Factories. – 2019. – Vol. 18, Is. 200. – P. 1-33.
3. Mate, Diana M. Laccase engineering: from rational design to directed evolution / Diana M. Mate, Miguel Alcalde // Biotechnology Advances. – 2015. – Vol. 33(1). – P. 25-40.
4. Santos-Sánchez, N. F. Antioxidant Compounds and Their Antioxidant Mechanism / N. F. Santos-Sánchez, R. Salas-Coronado, C. Villanueva-Cañongo, B. Hernández-Carlos // IntechOpen. – 2019. – P. 1–28.
5. Antioxidant Activity Applying an Improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay / Roberta Re et al. // Free Radical Biology & Medicine. – 1999. – Vol. 26. – P. 1231-1237.
6. Кравченко Е.М. Использование стабильных радикалов для изучения кинетики ферментативного окисления фенолов / Е.М. Кравченко, Е.С. Кучина, Е.А. Лаптева, И.Д. Одарюк // Актуальные вопросы биологической физики и химии. – 2021. – Т. 6, № 2. – С. 325-329.
7. Волков В. А. Кинетический метод анализа антирадикальной активности экстрактов растений / В. А. Волков, Н. А. Дорофеева, П. М. Пахомов // Химико-фармацевтический журнал. – 2009. – Т. 43, № 6. – С. 27-31.
8. Osman A. M. ABTS radical-driven oxidation of polyphenols: isolation and structural elucidation of covalent adducts / A. M. Osman, K. K. Y. Wong, A. Fernyhough // Biochem Biophys Res Commun. – 2006. – Vol. 346(1). – P. 321-329.
9. Radical formation during phenol oxidation in aqueous media [Text] / A. N. Shendrik, I. D. Odaryuk, L. V. Kanibolotska et al. // Int. J. Chem. Kinet. – 2012. – Vol. 44, № 6. – P. 414–422.
10. Gramss, G. Reappraising a Controversy: Formation and Role of the Azodication (ABTS<sup>2+</sup>) in the Laccase-ABTS Catalyzed Breakdown of Lignin / G. Gramss // Fermentation. – 2017. – Vol. 3 (27). – P. 1-18.

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ОСНОВАНИЯ  
НА РЕГИОСЕЛЕКТИВНОСТЬ РАСКРЫТИЯ  
ОКСИРАНОВОГО ЦИКЛА 2-(ХЛОРМЕТИЛ)ОКСИРАНА  
БЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТОЙ**

**Синельникова М.А., Бахтин С.Г.**, канд. хим. наук  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*maryna\_synel@mail.ru*

Реакции оксиранов с протонодонорными нуклеофилами (карбоновыми кислотами, фенолами, спиртами и т.д.) широко используются в синтезе эпоксидных смол, композиционных материалов, пластификаторов и фармацевтических субстанций. В практическом аспекте в случае применения асимметричных оксиранов важный вклад, определяющий выход целевого продукта, вносит региоселективность реакции. Асимметричные оксираны содержат два электрофильных реакционных центра ( $C_1$  и  $C_2$ ), поэтому раскрытие эпоксидного цикла протонодонорными нуклеофилами может происходить двумя возможными путями (реакция 1).



Раскрытие оксиранового цикла по связи  $C_1-O$  предпочтительно в соответствии с правилом Красусского и приводит к “нормальному” продукту **n-P**, тогда как раскрытие оксиранового цикла по связи  $C_2-O$  дает “аномальный” продукт **a-P**. Наличие катализаторов – органических оснований, таких как третичные амины и галогениды тетраалкиламмония – значительно повышает региоселективность реакции раскрытия оксиранового цикла гидроксилсодержащими реагентами. Очевидно, что такое поведение реагентов в реакции (1) с образованием двух продуктов **n-P** и **a-P** связано с механизмом раскрытия оксиранового цикла.

Для описания катализитического действия третичных аминов и галогенидов тетраалкиламмония используют общеосновный и нуклеофильный механизмы, а также механизм переноса аниона.

нуклеофильного реагента ионной парой. В нейтральных и основных средах реализуются механизмы  $S_N2$  или «пограничный»  $S_N2$  с возможностью атаки как на первичный ( $C_1$ ), так и на вторичный ( $C_2$ ) атомы углерода с учетом стерического фактора, чувствительность к которому выше в случае  $S_N2$  механизма. Таким образом, образование исключительно продукта «нормального» присоединения с атакой на первичный ( $C_1$ ) атом углерода является следствием протекания реакции по  $S_N2$  механизму, в то время как образование смеси «нормального» и «аномального» продукта происходит в случае реализации «пограничного»  $S_N2$  с возможностью атаки как на первичный ( $C_1$ ), так и на вторичный ( $C_2$ ) атомы углерода.

Целью настоящей работы является изучение влияния природы катализатора на региоселективность раскрытия оксиранового цикла в системе 2-(хлорметил)оксиран–карбоновая кислота–основание.

Реакцию (1) проводили при температуре  $60,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  в среде оксирана, что моделирует промышленный процесс получения глицидиловых эфиров карбоновых кислот. В качестве катализатора выбраны бромид и бензоаттетраэтиламмония, третичные амины – триэтиламин и диметиламилин. Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  регистрировали на приборе BrukerAvance II, рабочая частота 400 МГц, растворитель  $d_6$ -ДМСО.

В результате проведенных исследований показано, что раскрытие оксиранового цикла в реакции 2-(хлорметил)оксирана с бензойной кислотой дает преимущественно продукт «нормального» присоединения – (3-хлор-2-гидроксипропил)карбоксилат. Региоселективность реакции увеличивается с увеличением нуклеофильности аниона соли катализатора. В случае катализа третичными аминами региоселективность реакции выше, чем при катализе солями тетраалкиламмония. Полученные результаты позволяют предположить, что образование смеси «нормального» и «аномального» продуктов происходит в случае реализации «пограничного»  $S_N2$  механизма с возможностью атаки как на первичный, так и на вторичный атомы углерода оксиранового цикла.

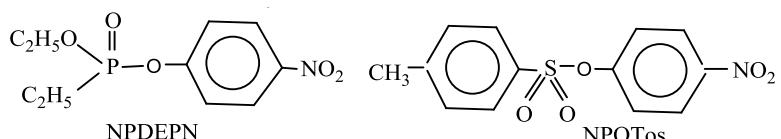
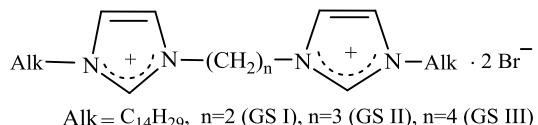
**МИЦЕЛЛЯРНЫЙ КАТАЛИЗ ПЕРОКСИГИДРОЛИЗА  
АЦИЛСОДЕРЖАЩИХ СУБСТРАТОВ В СИСТЕМАХ  
НА ОСНОВЕ ДИМЕРНЫХ КАТИОННЫХ ПАВ**

**Туровская М.К.**, канд. хим. наук,  
**Прокопьева Т.М.**, канд. хим. наук, с.н.с.,  
**Разумова Н.Г., Гайдаш Т.С., Михайлов В.А.**, канд. хим. наук  
ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии  
им. Л.М.Литвиненко», г. Донецк, ДНР  
*nrazum@ukr.net*

Особое место среди димерных ПАВ – одни из наиболее изучаемых объектов физико-органической химии – организованные микрогетерогенные системы (ОМС) – занимают димерные детергенты (*Gemini surfactant, GS*), в полярные группы которых входят имидазолиевые фрагменты. Димерные катионные детергенты, характеризующиеся близкой гидрофобностью с мономерными аналогами: 1) формируют в зависимости от строения мостикового звена различные мицеллярные агрегаты (стержне-, червеобразные, сферические), тогда как мономерные ПАВ – преимущественно сферические мицеллы; 2) эффективно понижают поверхностное натяжение воды; 3) отличаются аномально низкими критическими концентрациями мицеллообразования (*cmc, M*); 4) имеют более низкие температуры Крафта, что позволяет проводить реакции при широком варьировании температуры реакционной среды. Кроме того GS на основе имидазола обладают и рядом преимуществ по сравнению с димерными тетраалкиламмониевыми ПАВ. Так, проявляя более высокую тенденцию к агрегации, они могут быть использованы как супрамолекулярные матрицы при получении функциональных материалов, применяться как среды с дополнительными возможностями по регулированию скоростей и направлений химических реакций.

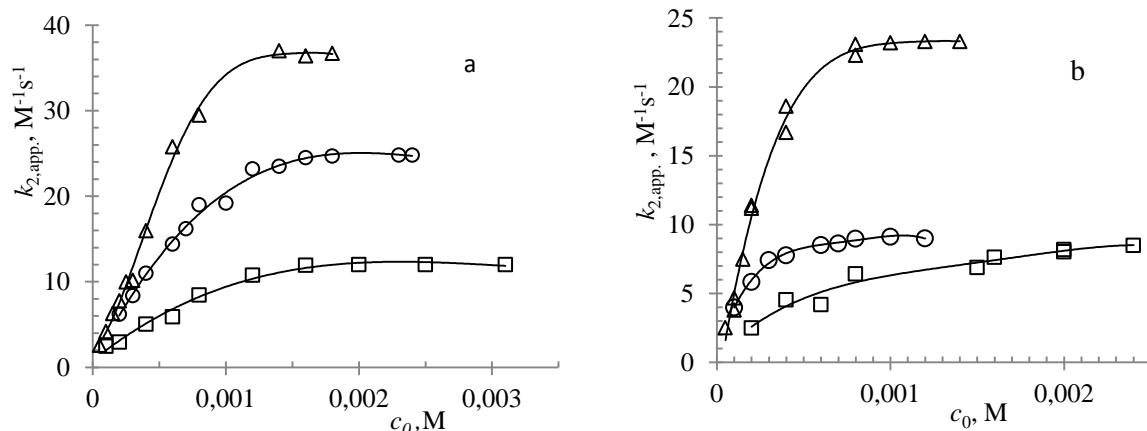
В рамках настоящей работы изучены мицеллярные эффекты димерных катионных ПАВ – GS I – GS III в реакциях разложения 4-нитрофениловых эфиров фосфоновой (NPDEPN) и толуолсульфоновой (NPOTos) кислот гидропероксид-анионом. Гидропероксид-анион – один из самых мощных α-нуклеофилов в процессах переноса ацильной группы и вследствие этого выступает в качестве весьма перспективного реагента при дизайне высокоэффективных ОМС для детоксикации/утилизации экотоксикантов. Несмотря на то, что использование мицеллярных эффектов катионных ПАВ – наиболее простой способ увеличения скорости реакции с участием  $\text{HOO}^-$ -иона, его реакционная способность изучалась преимущественно в ОМС на базе мономерных детергентов – галогенидов цетилtrimетиаммония. Варьирование структуры GS I – GS III затрагивает только мостиковое звено, что

дает возможность оценить роль длины метиленового фрагмента в мицеллярных эффектах ПАВ.



Выбор субстратов – модельных аналогов экотоксикантов – обусловлен следующими причинами: с одной стороны, в воде реакционная способность  $\text{HOO}^-$ -аниона  $\sim$  в 7 раз выше по отношению к NPDEPN, а с другой – солюбилизация NPOTos ранее изученными катионными функциональными детергентами  $\sim$  в 10 раз превосходит таковую для NPDEPN. Такие отличия в физико-химических свойствах субстратов должны позволить оценить значимость различных факторов в мицеллярном катализе пероксигидролиза.

Мицеллы димерных ПАВ катализируют расщепление эфиров NPDEPN и NPOTos пероксидом водорода, а зависимости наблюдаемых констант скорости псевдопервого порядка  $k_{\text{obs}}, \text{s}^{-1}$  (или  $k_{2,\text{app}} = k_{\text{obs}}/[\text{HOO}^-], \text{M}^{-1}\text{s}^{-1}$ ) от концентрации ПАВ ( $c_0, \text{M}$ ) являются типичными для ОМС на основе детергентов (рис. 1a,b). Значения  $k_{2,\text{app}}$  существенно зависят от кислотности среды: величины  $k_{2,\text{app}}$  возрастают с увеличением pH, однозначно указывая на то, что реакционной формой выступает  $\text{HOO}^-$ -анион.



a – GS I –  $\Delta$ ,  $n=2$ ; GS II –  $\square$ ,  $n=3$ ; GS III –  $\circ$ ,  $n=4$ ;      b – GS I –  $\Delta$ ,  $n=2$ ; GS II –  $\square$ ,  $n=3$ ; GS III –  $\circ$ ,  $n=4$ .

Рис. 1. Зависимость величин  $k_{2,\text{app}}, \text{M}^{-1}\text{s}^{-1}$  от концентрации GS ( $c_0, \text{M}$ ) для пероксигидролиза NPDEPN (а) и NPOTos (б); pH 11,0, вода, 25°C

Пероксигидролиз NPDEPN и NPOTos в присутствии GS I – GS III является многопоточным процессом, включающим и щелочной гидролиз субстратов в воде и мицеллярной псевдофазе. Тем не менее, различия в скоростях позволяют пренебречь вкладом щелочного гидролиза. В рамках псевдофазной распределительной модели наблюдаемая скорость может быть описана выражением:

$$k_{\text{obs.}} = \frac{(k_2^{\text{m}}/V_{\text{m}})K_{\text{s}}K_{\text{HOO}^-}c + k_2^{\text{w}}}{(1+K_{\text{s}}c)(1+K_{\text{HOO}^-}c)} \cdot \frac{K_{\text{a,app.}}}{K_{\text{a,app.}} + a_{\text{H}^+}} \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]_0, \quad (1)$$

где  $c = c_0$  – смс,  $c_0$ , М – аналитическая концентрация ПАВ;  $K_{\text{a,app.}}$  – кажущаяся константа кислотной ионизации пероксида водорода (величина  $K_{\text{a,каж.}}$  принималась равной константе  $K_{\text{a}}$  ионизации пероксида водорода в воде,  $K_{\text{a}} = 3,16 \cdot 10^{-12}$ );  $K_{\text{HOO}^-}$ ,  $K_{\text{s}}$ , М<sup>-1</sup> – константы связывания НОО<sup>-</sup>-иона и субстрата;  $k_2^{\text{m}}$  и  $k_2^{\text{w}}$ , М<sup>-1</sup>с<sup>-1</sup> – константы скорости второго порядка, характеризующие нуклеофильность гидропероксид-иона в мицеллярной псевдофазе и в воде;  $V_{\text{m}}$ , М<sup>-1</sup> – парциальный мольный объем ПАВ. Физико-химические параметры, описывающие процесс пероксигидролиза представлены в таблице.

Таблица  
Физико-химические параметры пероксигидролиза NPDEPN  
и NPOTos в ОМС на основе ПАВ; pH 11,0, 25 °C, вода

ПАВ	NPDEPN			NPOTos		
	$K_{\text{s}}$ , М <sup>-1</sup>	$K_{\text{HOO}^-}$ , М <sup>-1</sup>	$k_2^{\text{m}}$ , М <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup>	$K_{\text{s}}$ , М <sup>-1</sup>	$K_{\text{HOO}^-}$ , М <sup>-1</sup>	$k_2^{\text{m}}$ , М <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup>
GS I	$330 \pm 30$	$60 \pm 5$	2,95	$2900 \pm 300$	$80 \pm 5$	0,5
GS II	$300 \pm 10$	$90 \pm 10$	0,16	$780 \pm 80$	$75 \pm 5$	0,11
GS III	$550 \pm 60$	$80 \pm 10$	2,4	$3500 \pm 400$	$80 \pm 7$	0,83

Рассмотрим основные факторы, ответственные за мицеллярный «катализ». По сравнению с водой в ОМС на основе GS I – GS III отмечается уменьшение нуклеофильности гидропероксид-иона в 2–3 раза [ср.  $k_2^{\text{m}}$  в табл. с  $k_2^{\text{w}} = 7,3$  (NPDEPN); 0,99 (NPOTos), М<sup>-1</sup>с<sup>-1</sup>]. Тем не менее, наблюдаемые константы скорости в присутствии ПАВ, по крайней мере, на порядок выше. И главную роль в мицеллярных эффектах GS играет концентрирование реагентов (см.  $K_{\text{s}}$ ,  $K_{\text{HOO}^-}$ , М<sup>-1</sup> в табл.). Если солюбилизацию субстратов обеспечивают гидрофобные взаимодействия, то связывание гидропероксид-аниона – кулоновские. Максимальное увеличение скорости реакции имеет место в мицеллах GS I, минимальное – GS II. Природа влияния мостикового звена на мицеллярные эффекты не является столь очевидной. Изменение величин  $K_{\text{s}}$ ,  $K_{\text{HOO}^-}$  и  $k_2^{\text{m}}$  (табл.) свидетельствуют о том, что для GS III следовало бы ожидать наибольшего увеличения  $k_{\text{obs.}}$ . По-видимому, причину следует искать в особенностях строения мицелл. В заключение следует подчеркнуть: в ОМС на основе GS I – GS III гидропероксид-ион ведет себя как типичный  $\alpha$ -нуклеофил, а величина  $\alpha$ -эффекта, характеризуемая отношением  $k_2^{\text{m}}(\text{HOO}^-)/k_2^{\text{m}}(\text{HO}^-) \sim 100$  раз (в воде  $\sim 50$ ). Следовательно, системы на основе GS I – GS III и НОО<sup>-</sup>-иона перспективны при создании реагентов для детоксикации экотоксикантов.

УДК (547.458.61 + 661.728.8) : 541.68

## ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ НА ПАРАМЕТРЫ НАБУХАНИЯ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ КУКУРУЗНОГО КРАХМАЛА И КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ

**Тюрина Т.Г.<sup>1</sup>, д-р хим. наук, Крюк Т.В.<sup>1</sup>, канд. хим. наук,  
Кудрявцева Т.А.<sup>1</sup>, Попова О.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии  
им. Л. М. Литвиненко», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли  
им. М. Туган-Барановского», г. Донецк, ДНР

*t\_tiurina@mail.ru*

Гели и пленки на основе крахмала с высокой влагоемкостью и способностью к набуханию могут иметь широкий спектр применения, например, как гидроизоляционные ленты электрического кабеля, очистители сточных вод от красителей и тяжелых металлов, системы доставки лекарственных веществ и др. [1]. Такие материалы являются экологически чистой альтернативой синтетическим суперабсорбентам с низкой биоразлагаемостью и остатками токсичных мономеров.

Для улучшения физико-механических свойств крахмальных гидрогелей и пленок в состав полимерной композиции вводят совместимые с полисахаридом синтетические или биополимеры, в частности, карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ) [2]. Наряду с этим небезопасные традиционные сшивающие агенты (эпихлоридрин, глутаровый альдегид, N,N'-бис-акриламид, N-этилкарбодиимид) заменяют на биологически активные соединения из класса диальдегидов и поликарбоновых кислот [3]. Показано, что способность гелей на основе крахмалов к набуханию можно регулировать путем использования карбоновых кислот с разной длиной углеродной цепи между двумя карбоксильными группами [4].

Целью данной работы было изучение влияния состава полимерной композиции и строения органических кислот на способность к набуханию пленок на основе кукурузного крахмала (КК) и КМЦ.

Пленки толщиной  $0,10 \pm 0,02$  мм получали методом полива полимерных растворов на чашки Петри с последующим их отверждением. Растворы, состоящие из 50 мл желатинированного КК, 50 мл раствора КМЦ, глицерина (50 % от массы полимеров) и сшивающего агента (7 % от массы полимеров), предварительно перемешивали в течение 0,5 ч при 50 °C и охлаждали до комнатной температуры. Соотношение КК/КМЦ составляло 90 : 10, 85 : 15, 80 : 20 мас.%. КК желатинировали в бидистиллированной воде при 95 °C в течение 40 мин при постоянном перемешивании. КМЦ растворяли в горячей бидистиллированной воде. В

качестве сшивющего агента использовали янтарную (ЯК), лимонную (ЛК), аскорбиновую (АК) или глутаминовую кислоту (ГК). Процесс формирования пленки проводили в сушильном шкафу по режиму: 40 °C – 2 ч, 60 °C – 4 ч, 80 °C – 4 ч. Полученные пленки подвергали набуханию в воде в течение 1 ч. Степень набухания ( $DS$ ) и массовую долю геля ( $G$ ) рассчитывали в соответствии с [5].

Ранее было установлено [6], что введение от 3,8 до 10 мас.% ЛК в состав композиции, состоящей из КК, КМЦ (80 : 20 мас.%) и глицерина (50 мас.%), позволяет получать гидрогелевые пленки с различной степенью набухания, сохраняющие целостность во влажных средах. Последующие исследования показали, что увеличение концентрации ЛК снижает набухание геля, т.е. обеспечивает большую плотность сшивки и затрудняет диффузию воды в сетку (рис. 1, кривая 1). Доля геля также закономерно изменяется с повышением содержания сшивющего агента и составляет 76 % при  $[ЛК] = 3,8$  мас.%, однако при дальнейшем увеличении  $[ЛК]$  резко снижается до 60 % (рис. 1, кривая 2).

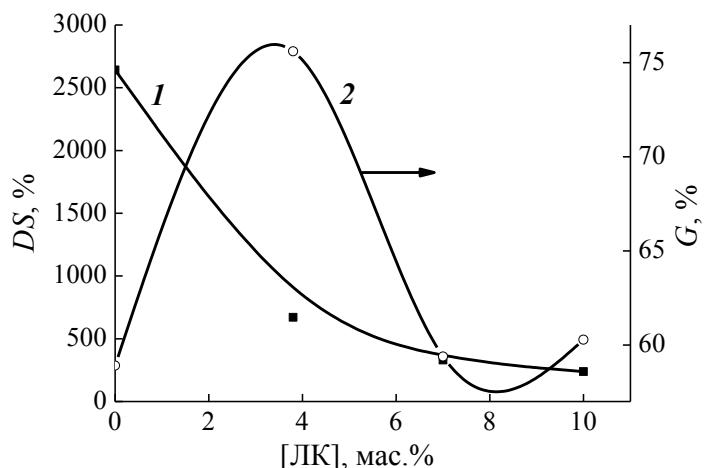


Рис. 1. Зависимость степени набухания в воде за 1 ч (1) и доли геля (2) пленок, сшитых ЛК, от концентрации кислоты. Соотношение КК/КМЦ = 80 : 20 мас.%.

С целью определения количества сшивющего агента, участвовавшего в синтезе гелей, анализировали содержание ЛК в растворах, полученных после набухания пленок. Установлено, что максимальное связывание ЛК с макромолекулами полисахаридов (82 %) происходит при введении в состав полимерной композиции 7 мас.% кислоты. Поэтому при использовании других органических кислот для получения гелей была выбрана указанная концентрация. Это входит в противоречие с низкой долей геля.

Варьирование количества полисахаридов в составе полимерной композиции, включающей ЛК, показало, что максимальная степень набухания (365 %) наблюдается при соотношении КК/КМЦ 80 : 20 мас.%. Уменьшение содержания КМЦ до 15 мас.% и далее до 10 мас.% значительно снижает значение  $DS$  – до 220 % и 160 % соответственно. Такие же результаты были получены для гелей, сшитых ЯК:  $DS = 365, 305, 270$  % соответственно. Величина  $G$  для этих составов находилась в

пределах 62–68 % (ЛК), 64–70 % (ЯК). Таким образом, наилучшую способность к набуханию показали пленки на основе КК/КМЦ/ЛК(ЯК) при соотношении полисахаридов 80 : 20 мас.%.

Как видно из рис. 2, введение в такие полимерные композиции глутаминовой кислоты приводит к увеличению величины  $DS$  до 435 %, однако, в этом случае в образовании сетчатой структуры участвует только половина макромолекул ( $G = 55\%$ ). Практически полное отсутствие сшивки цепей полимеров наблюдается при использовании аскорбиновой кислоты: низкая степень сшивки ( $G = 50\%$ ) обуславливает высокие значения степени набухания (555 %), однако образцы теряли целостность уже через 1 ч выдержки в воде.

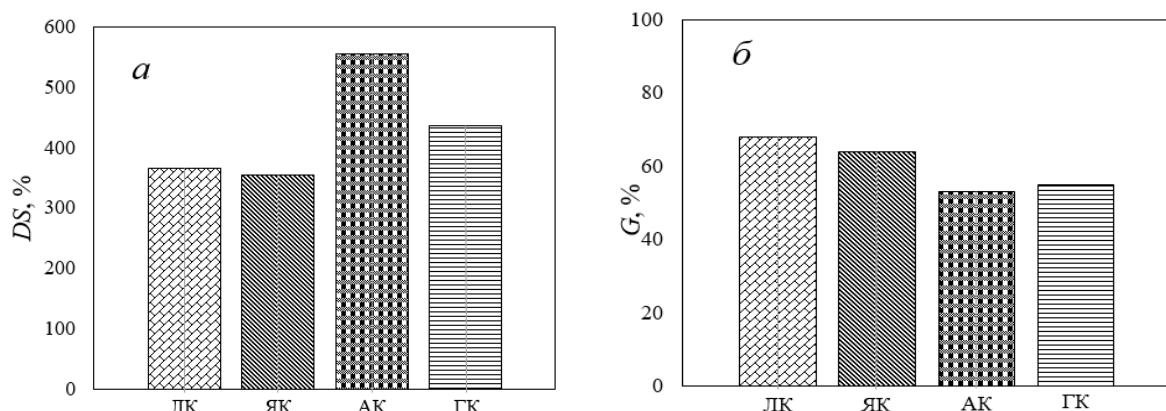


Рисунок 2 – Зависимость степени набухания (а) и доли геля (б) пленок, сшитых различными органическими кислотами. Соотношение КК/КМЦ 80 : 20 мас.%.

Полученные результаты показали, что пленки, обладающие свойствами гидрогелей, можно получить на основе кукурузного крахмала и карбоксиметилцеллюлозы с добавками лимонной или янтарной кислот.

### Список литературы

1. Ismail H. Starch-based hydrogels: present status and applications / H. Ismail, M. Irani, Z. Ahmad // Int. J. Polym. Mater. – 2013. – Vol. 62, No. 7. – P. 411-420.
2. Corn and cassava starch with carboxymethyl cellulose films and its mechanical and hydrophobic properties / K. M. Tavares [et al.] // Carbohydr. Polym. – 2019. – No. 223. – P. 115055.
3. Patil S. Crosslinking of polysaccharides: methods and applications / S. Patil, D. R. Jadge // Lat. Rev. – 2008. – Vol. 6, No. 2. – P. 10-17.
4. Passauer L. Starch phosphate hydrogels. Part I: synthesis by mono-phosphorylation and cross-linking of starch / L. Passauer, F. Liebner, K. Fischer // Starch-Stärke. – 2009. – Vol. 61, No. 11. – P. 621-627.
5. Light processable starch hydrogels / C. Noè [et al.] // Polymers. – 2020. – Vol. 12, No. 6 – P. 1359-1372.
6. Кудрявцева Т. А. Пленочные полимерные композиции на основе крахмала – Текст : электронный / Т. А. Кудрявцева, О. С. Попова // Материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2021», секция «Химия». – М.: Издательство «Перо», 2021. – С. 172. – 80 МБ.

**СИНТЕЗ И ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ НОВОЙ  
ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ 7-МЕТИЛ-1-ФЕНИЛ-5,7-  
ДИГИДРО[1,2]ДИАЗЕПИНО[5,4-*b*]КАРБАЗОЛ-4(3*H*)-ОНА**

**Харанеко А.О.**, канд. хим. наук, **Харанеко О.И.**, канд. хим. наук  
ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии  
им. Л.М.Литвиненко», г. Донецк, ДНР  
*o\_kharaneko@mail.ru*

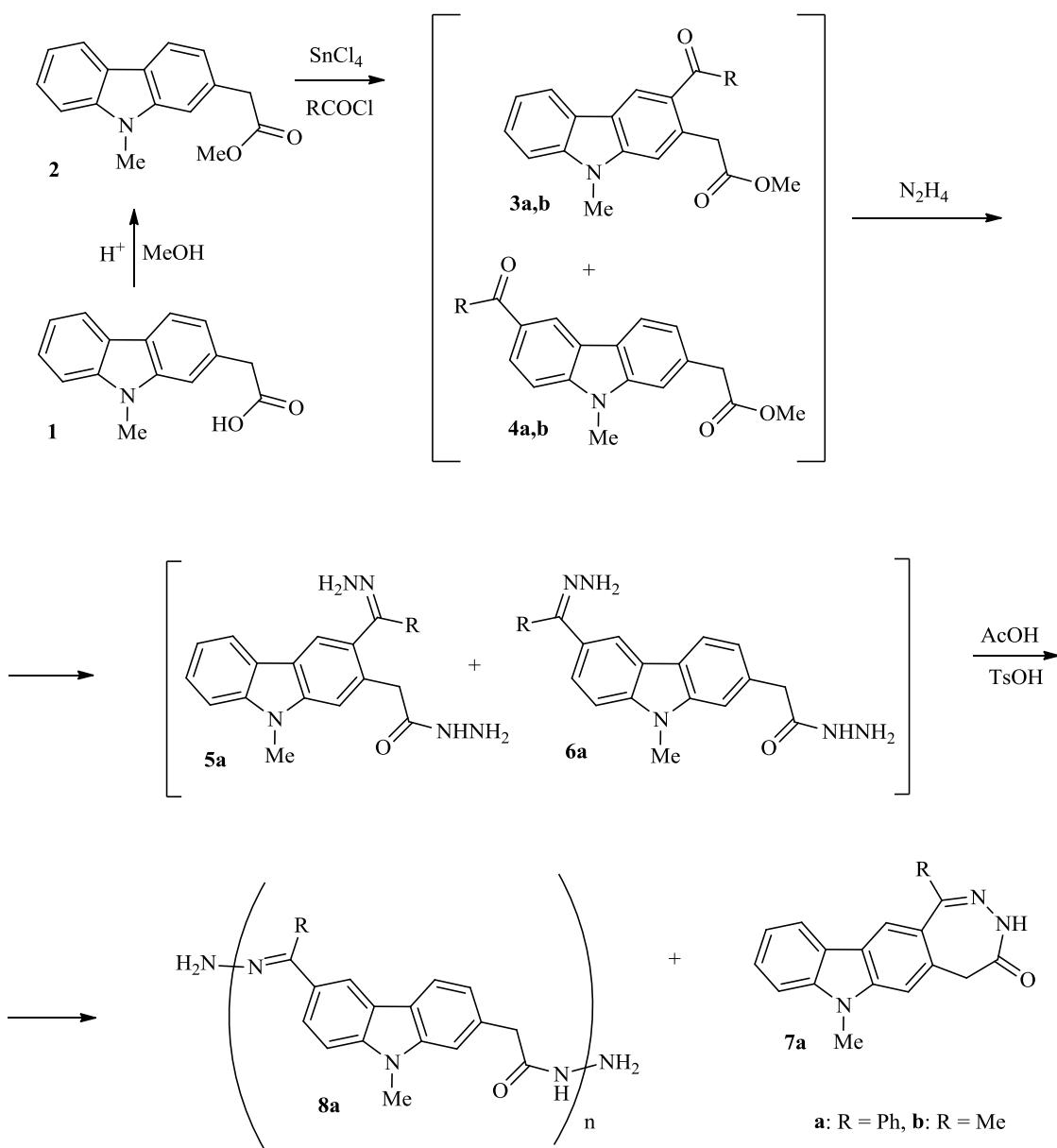
Производные карбазола имеют широкий спектр биологической активности. Среди природных алкалоидов и синтетических препаратов с ядром карбазола известны соединения, проявляющие противораковую, антибактериальную, противогрибковую, анти-ВИЧ, противовоспалительную активность, седативные свойства, найдены эффективные противотуберкулезные средства против штамма *Mycobacterium tuberculosis*. Поэтому развитие химии карбазола является актуальной задачей медицинской химии.

Можно ожидать, что объединение в одной молекуле двух фармакофоров – карбазола и 1,2-диазепина придаст соединению новый спектр фармакологических свойств. Методы сборки 2,3-бензодиазепинового скелета достаточно хорошо изучены, однако, 1,2-диазепины, конденсированные с гетероциклическим ядром, в синтезе которых могут использоваться аналогичные методы, остаются малоизученными, что, прежде всего, связано со сложностью получения исходных соединений.

На схеме 1 представлена стратегия синтеза первого представителя новой гетероциклической системы 7-метил-1-фенил-5,7-дигидро[1,2]диазепино[5,4-*b*]карбазол-4(3*H*)-она **7a**. Здесь в качестве ключевого соединения использовали метил(3-бензоил-9-метил-9*H*-карбазол-2-ил)ацетат **3a**, а метод синтеза основан на хорошо известной реакции 1,5-дикарбонильных соединений с гидразингидратом.

Исходным реагентом в синтезе карбазола **3** была выбрана (9-метил-9*H*-карбазол-2-ил)уксусная кислота **1**. Ацилирование метил (9-метил-9*H*-карбазол-2-ил)ацетата **2** хлористым бензоилом или хлористым ацетилом даёт два изомерных продукта: в первом случае - карбазол **3a** и метил (6-бензоил-9-метил-9*H*-карбазол-2-ил)ацетат **4a**, а во втором – метил (3-ацетил-9-метил-9*H*-карбазол-2-ил)ацетат **3b** и метил (6-ацетил-9-метил-9*H*-карбазол-2-ил)ацетат **4b**. По данным ЯМР <sup>1</sup>Н спектроскопии соотношение продуктов **3a/4a** составляет 3/7, а **3b/4b** – 1/1. Различие соотношений изомеров в случае бензоильного и ацетильного заместителя определяется объёмом заместителя. В дальнейших синтезах смесь **3a** и **4a**, а также **3b** и **4b** использовали без разделения.

Схема 1

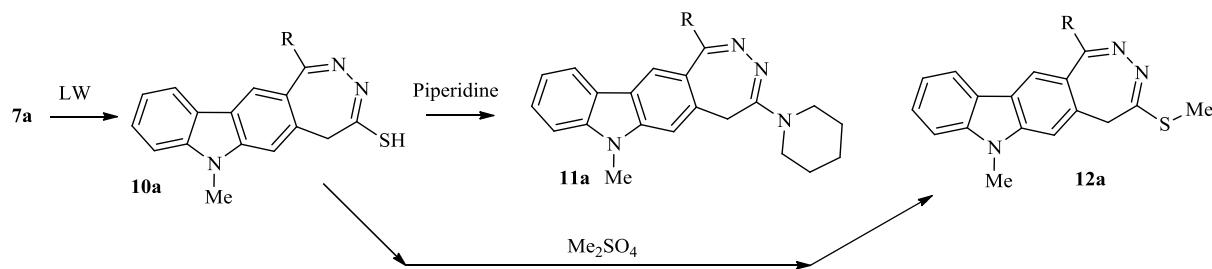


При взаимодействии смеси **3a** и **4a** с гидразингидратом образуется смесь 2-{3-[*(E,Z*)-гидразоно(фенил)метил]-9-метил-9*H*-карбазол-2-ил} ацетогидразида **5a** и 2-{6-[*(E,Z*)-гидразоно(фенил)метил]-9-метил-9*H*-карбазол-2-ил} ацетогидразида **6a**. Стереохимическую конфигурацию соединения **5a** не устанавливали, так как оба *E, Z* изомера при циклизации дают единственный карбазолодиазепинон **7a**.

Дальнейшее кипячение смеси **5,6a** в уксусной кислоте в присутствии катализитических количеств толуолсульфокислоты приводит к смеси диазепинона **7a** и олигомерного продукта конденсации **6a** в **8a**. Карбазолодиазепинон **7a** и олигомер **8a** плохо растворимы почти во всех органических растворителях. Однако карбазолодиазепинон **7a** очень хорошо растворим в диметилформамиде, а олигомер **8a** вовсе не растворим в нем. Эта особенность позволила нам разделить смесь **7a** и **8a**.

Под действием реагента Лавессона кислород карбазолидазепина **7a** замещается на серу, давая 7-метил-1-фенил-5,7-дигидро[1,2]диазепино[5,4-*b*]карбазол-4-тиол **10a** (схема 2). Тиопропизводные диазепинов являются более реакционноспособными, чем соответствующие диазепиноны. Это позволяет осуществить функционализацию диазепинового цикла. Например, при кипячении карбазолидазепинтиола **10a** в пиперидине атом серы замещается на пипередин, давая 7-метил-1-фенил-4-пиперидин-1-ил-5,7-дигидро[1,2]диазепино[5,4-*b*]карбазол **11a**, а алкилирование диметилсульфатом протекает исключительно по атому серы, давая 7-метил-4-(метилтио)-1-фенил-5,7-дигидро[1,2]диазепино[5,4-*b*]карбазол **12a**.

Схема 2



В ЯМР <sup>1</sup>Н спектре карбазолидазепина **7a** метиленовая группа проявляется синглетом в области 3.63 м.д. В карбазолидазепинтиоле **10a** эта же группа проявляется двумя уширенными синглетами в областях 3.90 и 4.14 м.д. Для карбазолидазепинов **11a** и **12a** в ЯМР <sup>1</sup>Н спектрах метиленовая группа приобретает вид характерный для диазепинов, т.е. два дублета по одному протону в областях 2.95 м.д. и 4.08 м.д. для соединения **11a** и два дублета по одному протону в областях 3.49 м.д. и 3.60 м.д. для соединения **12a** с КССВ 12.8 Гц.

Таким образом, в настоящей работе предложен метод синтеза первого представителя новой гетероциклической системы 7-метил-1-фенил-5,7-дигидро[1,2]диазепино[5,4-*b*]карбазол-4(3*H*)-она, основанный на реакции метил (3-бензоил-9-метил-9*H*-карбазол-2-ил)ацетата с гидразином, приведены реакции функционализации диазепинового цикла.

## ДВА ПОДХОДА К СИНТЕЗУ АНАЛОГОВ ПРИРОДНОГО АЛКАЛОИДА ЭЛЛИПТИЦИНА

**Харанеко А.О.** канд. хим. наук, **Харанеко О.И.** канд. хим. наук  
ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М.Литвиненко»,  
г. Донецк, ДНР  
*o\_kharaneko@mail.ru*

Эллиптицин (5,11-диметил-6*H*-пиридо[4,3-*b*]карбазол) - органическое соединение, впервые выделенное из цветущего дерева *Ochrosia elliptica* Labill., произрастающего в Австралии и Новой Каледонии.

Эллиптицин - интеркалятор, способный проникать в нить ДНК между парами оснований. В интеркалированном состоянии эллиптициночно связывается и располагается параллельно парам оснований, увеличивая сверхспиральную плотность ДНК. Интеркалированный эллиптицин напрямую связывается с топоизомеразой II, ферментом, участвующим в репликации ДНК, ингибируя фермент и приводя к мощной противоопухолевой активности. Выраженной противораковой активностью обладают производные с заместителями в положениях 1-,2-,6- и 9.

Цель этой работы – развитие новых подходов к синтезу производных эллиптицина.

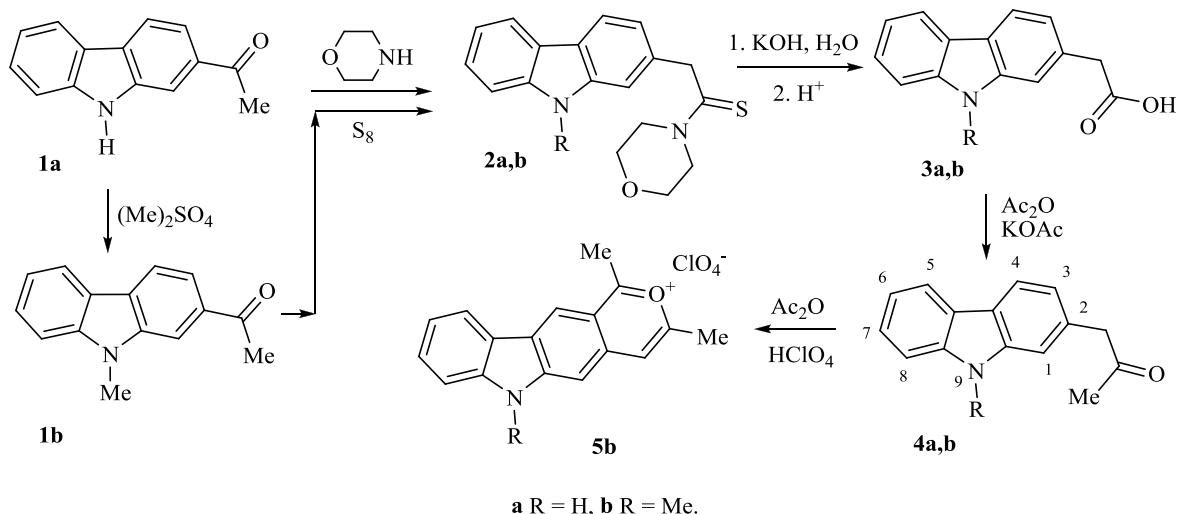
**Метод A.** Соли пирилия находят широкое применение как исходные реагенты в синтезе гетеро- и карбоциклических соединений, получить которые другими методами бывает трудно или даже невозможно. Несмотря на то, что химия пирилиевых солей (синтез и реакции) была предметом исследования еще в прошлом веке, интерес к этим соединениям в последнее время возрастает в связи с их использованием в качестве исходных реагентов в синтезе биологически активных соединений, например, производных 2,3-бензодиазепина,  $\beta$ -карболинов.

В настоящей работе представлен метод синтеза 1,3,6-триметил-6*H*-пирано[4,3-*b*]карбазол-2-пирилий перхлората и показана возможность его рециклизации в 1,3,6-триметил-6*H*-пиридо[4,3-*b*]карбазол – гетероциклический аналог природного алкалоида эллиптицина. В отличие от известных методов синтеза производных эллиптицина этот метод не требует использования металлоорганических соединений, низких температур (до – 78°C), высокотоксичных реагентов (таких, например, как COCl<sub>2</sub>).

Стратегия синтеза 1,3,6-триметил-6*H*-пирано[4,3-*b*]карбазол-2-пирилий перхлората **5b** приведена на схеме 1. Исходный 1-(9*H*-карбазол-2-ил)этанон **1a** получали по методу [1]. Его алкилирование диметилсульфатом даёт 1-(9-метил-9*H*-карбазол-2-ил)этанон **1b**.

Карбазолы **1a,b** по реакции Вильгеродта с хорошими выходами превращаются в 2-(2-морфолин-4-ил-2-оксоэтил)-9*H*-карбазол **2a** и 9-метил-2-(2-морфолин-4-ил-2-оксоэтил)-9*H*-карбазол **2b**. При их гидролизе образуются 2-карбазолилуксусная кислота **3a** и 9-метил-2-карбазолилуксусная кислота **3b**.

Схема 1

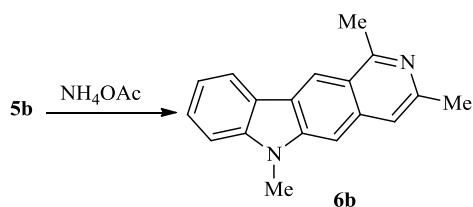


При конденсации кислот **3a,b** с уксусным ангидридом в среде уксусного ангидрида и в присутствии ацетата калия с выходом ~ 10 % образуются 1-(9*H*-карбазолил-2-ил)ацетон **4a** и 1-(9-метил-9*H*-карбазолил-2-ил)ацетон **4b**. К сожалению, нам не удалось на этой стадии поднять выход конечных продуктов хотя бы до средних. Если использовать в качестве основания ацетат натрия или пиридин, выход **4a,b** снижается.

При обработке карбазола **4b** ацилирующей смесью (уксусный ангидрид и  $\text{HClO}_4$ ) с количественным выходом образуется 1,3,6-триметил-6*H*-пирано[4,3-*b*]карбазол-2-пирилий перхлорат **5b**. В случае карбазола **4a** пирилиевая соль в этих условиях не образуется. Полагаем, это связано с ацилированием карбазола **4a** по атому азота в ацилирующей смеси, в результате чего дезактивируются третье и шестое положение карбазольного ядра в **4a**.

Рециклизация пирилиевой соли **5b** ацетатом аммония при комнатной температуре приводит к количественному образованию 1,3,6-триметил-6*H*-пирано[4,3-*b*]карбазола **6b** (схема 2).

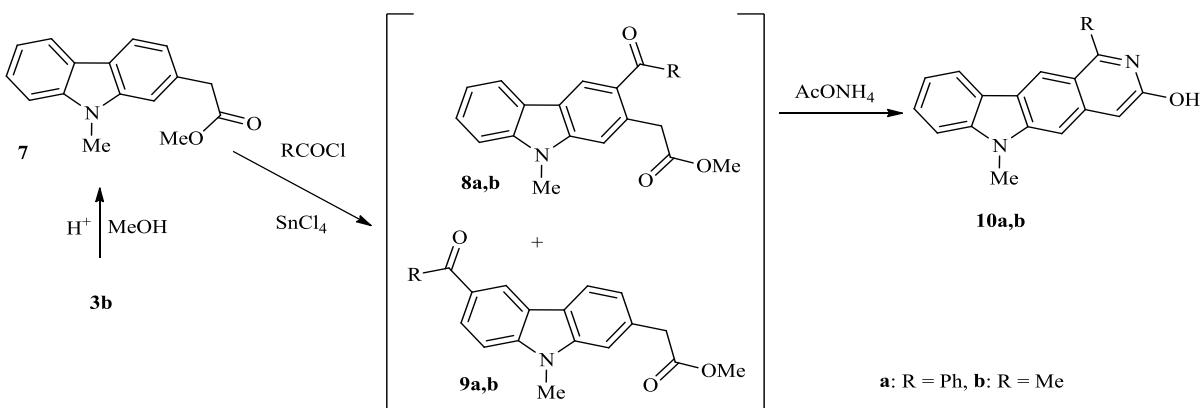
Схема 2



Недостаток этого метода – низкий выход на стадии образования промежуточного продукта **4a**.

**Метод Б.** Перспективными реагентами в синтезе производных эллиптицина также могут быть 1,5-дикарбонильные соединения с ядром карбазола в цепи.

Схема 3



При кипячении смеси **8a** и **9a** с ацетатом аммония в уксусной кислоте образуется 6-метил-1-фенил-6*H*-пиридо[4,3-*b*]карбазол-3-ол **10a** в виде кроваво-красных кристаллов, которые плохо растворимы в диоксане. При кипячении смеси **8b** и **9b** с ацетатом аммония в уксусной кислоте образуется 1,6-диметил-6*H*-пиридо[4,3-*b*]карбазол-3-ол **10b** в виде мелких жёлтых кристаллов плохо растворимых не только в диоксане, но и в уксусной кислоте. Выход **10a** составляет 77 %, выход **10b** – 90 % в пересчёте на исходный **8a,b**.

Подобно эллиптицину оба полученных его аналога **10a,b** плохо растворимы в органических растворителях, что и позволяет выделять их в чистом виде непосредственно из реакционной смеси без дополнительной перекристаллизации.

Таким образом, в настоящей работе предложены простые в исполнении методы синтеза производных эллиптицина, не требующий дорогих и токсичных реагентов, соединений переходных металлов.

#### Список литературы

1. Manchand P.S. Syntheses of carprofen, a carbazole-based nonsteroidal anti-inflammatory agent / P.S. Manchand, D.L. Coffen, P.C. Belica, F. Wong, H.S. Wong, L. Berger // Heterocycles – 1994. – V. 39 – P. 833.

## ТЕНЗИОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСЕЙ ДИКАТИОННОГО ПАВ И $\beta$ -ЛАКТОГЛОБУЛИНА

**Хилько С.Л.**, канд. хим. наук, с.н.с., **Котенко А.А.**

ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии», г. Донецк, ДНР  
*sv-hilko@yandex.ru*

**Введение.** Одним из актуальных направлений химии и химической технологии является исследование адсорбционных свойств смесей поверхностно-активных веществ (ПАВ). В таких смесях возможны проявления эффектов синергизма и антагонизма действия, что имеет как теоретическое значение, так и важные практические применения [1]. Такие системы широко используются при составлении рецептур моющих средств, пенообразователей, эмульгаторов, косметических средств, фармацевтических и других препаратов [1, 2].

Интерес к димерным ПАВ связан с необычными коллоидно-химическими свойствами, отличными от свойств их мономерных аналогов. Растворы димерных ПАВ характеризуются высокой способностью к образованию переменных агрегатных образований, т.е. к изменению физической формы мицеллярных структур. В значительной степени свойства димерных ПАВ определяются природой мостиковых фрагментов [3, 4].

Взаимодействия в смесях димерных ПАВ с белковыми макромолекулами может оказаться полезным, поскольку известно о биологических применениях геминальных ПАВ в качестве средств доставки лекарственных препаратов и ДНК в клетки организмов при их взаимодействии с биомолекулами [5, 6].

Целью работы было исследование взаимодействий дикационного имидазолиевого ПАВ с коротким мостиковым фрагментом и  $\beta$ -лактоглобулином методом тензиометрии.

**Основная часть.** В работе использовался дикационный имидазолиевый ПАВ с цетилсодержащим радикалом и мостиковым фрагментом с количеством метиленовых групп 2\* (рис. 1).

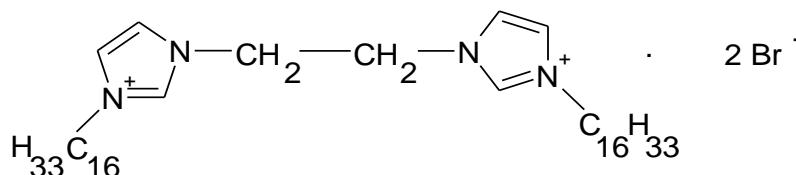


Рис. 1. Общая формула дикационного имидазолиевого ПАВ  
(дигромид 1,3-бис (3'-цетилимидазолий-1'-ил)-2-этан)

\*Вещество синтезировано к.х.н. В.А. Михайловым (ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»).

Была выбрана концентрация дикарионного ПАВ, близкая к величине критической концентрации мицеллообразования (ККМ) –  $C_{ПАВ} = 10^{-5}$  моль/л. Равновесное значение поверхностного натяжения при этой концентрации составляло 35 мН/м. Эта концентрация была постоянной в смесях. Концентрацию  $\beta$ -лактоглобулина варьировали.

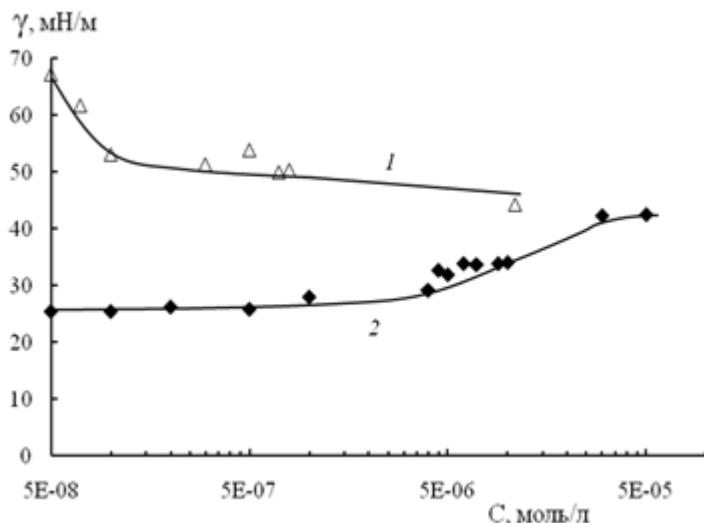


Рис. 2. Изменение равновесного поверхностного натяжения от концентрации растворов: 1 –  $\beta$ -лактоглобулин, 2 – смесь дикарионного ПАВ и  $\beta$ -лактоглобулина

Как следует из рис. 2, по мере увеличения концентрации  $\beta$ -лактоглобулина в смеси величина поверхностного натяжения растворов сначала мало изменяется, а затем возрастает, достигая значения  $\gamma$ , характерного для раствора  $\beta$ -лактоглобулина. Можно предположить, что образование комплексов ПАВ с  $\beta$ -лактоглобулином связано с постепенным разрушением адсорбционного слоя димерного ПАВ по мере увеличения концентрации  $\beta$ -лактоглобулина с образованием комплексов между ними в объеме раствора.

**Заключение.** Образование комплексов между компонентами в смеси приводит к отрицательному влиянию на характеристики поверхностного слоя на границе раздела фаз. Однако образование таких комплексов в объеме раствора может оказаться полезным для практического применения.

### Список литературы

- Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах: [пер. с англ] / К. Холмберг, Б. Йёнссон, Б. Кронберг, Б. Линдман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 526 с.
- Rosen M.J., Kunjappu J.T. Surfactants and interfacial phenomena // John Wiley & Sons Ltd.: New York, 2012. – 616 p.
- Menger, F.M., Keiper J.S., Azov V. Gemini surfactants with acetylenic spacers // Langmuir – 2000. – V. 16, No 5. – P. 2062-2067.
- Kamal M.S. A review of gemini surfactants: potential application in enhanced oil recovery // Journal of Surfactants and Detergents – 2016. – V. 19, No 2. – P. 223-236.

5. Supramolecular systems based on gemini surfactants for enhancing solubility of spectral probes and drugs in aqueous solution / Mirgorodskaya A.B., Zakharova L.Ya, Khairutdinova E.I., Lukashenko S.S., Sinyashin O.G. // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects – 2016. – V. 510, No 5. – P. 33-42.
6. Advances in the synthesis, molecular architectures and potential applications of gemini surfactants / Sharma R., Kamal A., Abdinejad M., Mahajan R. K., Kraatz H.-B. // Advances in Colloid and Interface Science – 2017. – V. 248, No 10. – P. 35-68.

УДК 544.463:532.612:631.4

## **МЕХАНОХИМИЧЕСКОЕ ЭТОКСИЛИРОВАНИЕ БЕНЗОЙНОЙ И ХЛОРБЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТ**

**Хилько С.Л.**, канд. хим. наук, с.н.с.,

**Макарова Р.А.**, канд. хим. наук,

**Семенова Р.Г.**, канд. хим. наук, **Невечеря О.И.**

ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии», г. Донецк, ДНР

*sv-hilko@yandex.ru*

**Введение.** Исследование закономерностей протекания реакций механохимического органического синтеза является важным, поскольку такие реакции протекают в одну стадию (механическая обработка порошкообразного материала), при отсутствии растворителей, катализаторов, нагревания и с сокращением общего времени получения продукта [1].

Проведение реакции этоксилирования химическими методами достаточно трудоемко и требует выполнения ряда условий: работа с газообразным оксидом этилена, наличие катализатора, длительность процесса, высокая температура [2].

Известно, что хлорзамещенные бензойные кислоты используются как антибактериальные средства в технических жидкостях [3]. В результате реакции этоксилирования таких бензойных кислот возможно получение хлорзамещенных неионогенных поверхностно-активных веществ, которые будут обладать бактерицидными свойствами.

Целью работы было проведение реакции этоксилирования бензойной и *ортого*-хлорбензойной кислот полиэтиленгликолем (ПЭГ-6000 и ПЭГ-1500) механохимическим методом в вибрационном аппарате и исследование продуктов реакции методами ИК спектроскопии и кислотно-основного потенциометрического титрования.

**Основная часть.** Механохимические твердофазные реакции бензойной кислоты и ее с двумя образцами полиэтиленгликоля (ПЭГ-6000 и ПЭГ-1500) проводили при соотношении кислота : ПЭГ = 1 : 1 по массе в

вибрационном аппарате 75T-ДрМ при частоте вибрации  $\nu = 50$  Гц и амплитуде  $A = 3,0 \div 5,0$  мм.

ИК спектры регистрировали на спектрометре Bruker Tensor 37 FTIR Spectrometer в таблетках KBr.

Количество карбоксильных групп определяли методом кислотно-основного потенциометрического титрования. Значения pH растворов измеряли с помощью прецизионного pH-метра (Metrohm 744 pH Meter, Швейцария). Растворы солей бензойных кислот и продуктов их этоксилирования (50 мл 0,05% растворов в 0,1 н NaOH) титровали 0,1 н раствором HCl. Точку эквивалентности определяли как максимум на дифференциальных кривых  $\Delta \text{pH} / \Delta V = f(V_{\text{HCl}})$ . Выход продуктов реакции (%) определяли как отношение разностей концентраций карбоксильных групп в растворах исходных кислот ( $[\text{COOH}]_k$ ) и продуктов реакции ( $[\text{COOH}]_p$ ) к концентрациям растворов исходных кислот:

$$\text{Выход (\%)} = \frac{[\text{COOH}]_k - [\text{COOH}]_p}{[\text{COOH}]_k} \cdot 100\%,$$

На рисунке приведены ИК спектры компонентов механохимической реакции: *ортого*-хлорбензойной кислоты, ПЭГ и продуктов их взаимодействия.

В спектрах реакционной смеси присутствуют полосы поглощения исходных реагентов и новые полосы, которые можно отнести к продукту реакции. В области валентных колебаний карбонильной группы регистрируются две полосы, одна из которых относится к исходной кислоте, а другая, смещенная в высокочастотную область на 20–35 см<sup>-1</sup>, может быть отнесена к валентным колебаниям C=O группы образующегося соединения. Изменяются полосы поглощения OH-колебаний кислот и ПЭГ в областях 2700–2500 и 1000–900 см<sup>-1</sup>.

Это дает возможность предполагать, что в условиях механохимического синтеза бензойные кислоты взаимодействуют с ПЭГ-6000 и ПЭГ-1500, однако реакция не проходит до конца.

Присоединение оксиэтиленовых групп может происходить по фрагментам молекул, содержащим «кислый»

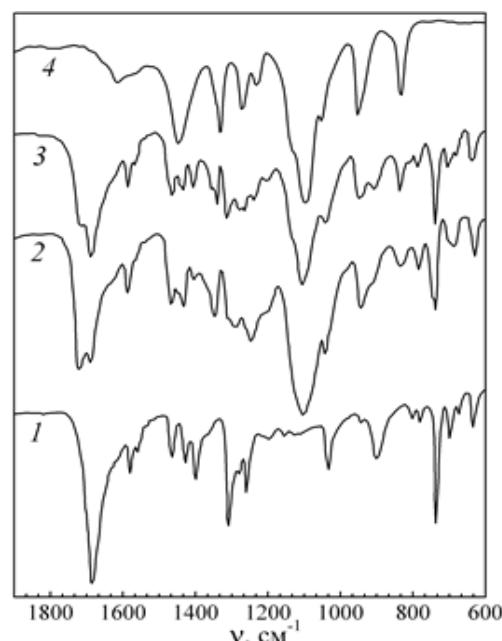


Рис. ИК спектры образцов: 1 – *ортого*-хлорбензойная кислота; 2 – *ортого*-хлорбензойная кислота + ПЭГ-1500; 3 – *ортого*-хлорбензойная кислота + ПЭГ-6000; 4 – ПЭГ-6000

водород: группам OH, COOH, NH<sub>2</sub> [2]. По данным потенциометрического титрования растворов бензойной и хлорбензойной кислот и продуктов их взаимодействия с ПЭГ-6000 или ПЭГ-1500 в этоксилированных образцах уменьшается количество групп –COOH (таблица), что может указывать на участие этих групп в mechanosинтезе, то есть –COOH группа является реакционным центром, по которому протекает взаимодействие бензойных кислот с полиэтиленгликолем.

Таблица  
Характеристики бензойных кислот и продуктов их этоксилирования

Кислота	мг-экв/г кислоты в исходной реакционной смеси (теор./эксп.)	мг-экв/г кислоты в продукте реакции	Выход продукта реакции, %	Частота C=O колебаний (v <sub>c=0</sub> , см <sup>-1</sup> ) в ИК спектре	
				исходной кислоты	продукта реакции
<i>Взаимодействие с ПЭГ-6000</i>					
Бензойная	4,09 / 4,30	3,52	18	1688	1714
Хлорбензойная	3,19 / 3,58	2,75	23	1694	1727
<i>Взаимодействие с ПЭГ-1500</i>					
Бензойная	4,09 / 4,30	3,33	22	1688	1714
Хлорбензойная	3,19 / 3,58	2,24	37	1694	1727

Как следует из данных таблицы, для исследованных кислот взаимодействие с ПЭГ-1500 приводит к большему выходу продуктов реакции по сравнению с ПЭГ-6000. Это может быть связано с большей деструкцией ПЭГ-1500 за счет перераспределения механической энергии в макромолекулах с меньшей молекулярной массой.

**Заключение.** Впервые показана возможность твердофазного механохимического синтеза этоксилированных производных бензойной и орто-хлорбензойной кислот в энергонапряженном вибрационном аппарате. Изменения структуры макромолекул этоксилированных хлорбензойных кислот по сравнению с исходными бензойными кислотами подтверждено методами ИК спектроскопии и кислотно-основного потенциометрического титрования. Установлено, что выход продуктов реакции зависит от молекулярной массы полиэтиленгликоля.

### Список литературы

1. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ / В.В. Болдырев // Успехи химии. – 2006. – Т. 75, № 3. – С. 203-216.
2. O’Lenick A.J. Group selectivity of ethoxylation of hydroxy acids / A. J. O’Lenick // J. Society of Cosmetic Chemists. – 1993. - V. 44, No 6. - P. 319-328.
3. Антимикробные композиции, содержащие ароматические карбоновые кислоты и спиртовой растворитель: пат. 2325203 РФ: МПК А 61 Q 17|00, А 61 K 8/36/ Тейлор Т.Т., Сейтц Э.П.Мл., Фокс П.С., Фалс Дж.Л.; заявитель и патентообладатель ЭЭ Дайал корпорейшн (US). - № 2006117688/15; заявл. 23.11.04; опубл. 27.05.08, Бюл. № 15. – 16с.

## ДИЛАТАЦИОННЫЕ РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ АМИНОГУМИНОВЫХ КИСЛОТ

**Хилько С.Л.**, канд. хим. наук, с.н.с., **Шелест В.С.**

ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии», г. Донецк, ДНР  
*sv-hilko@yandex.ru*

**Введение.** Механохимические методы активации твердофазных реакций являются перспективным направлением в различных областях химии, химической технологии и материаловедения [1]. Актуальным направлением исследования природных соединений является разработка методов модифицирования их структуры посредством введения в состав макромолекул новых функциональных фрагментов [2].

Гуминовые кислоты (ГК) являются природными полиэлектролитами и относятся к классу полиоксиполикарбоновых кислот.

При введении в состав макромолекулы гуминовой кислоты аминогрупп возможно получение новых видов ПАВ, которые будут сочетать в себе анионные и катионные свойства и представлять собой бифункциональные или цвиттерионные ПАВ (амфолиты), способные противодействовать изменению рН среды при добавлении кислоты или щелочи. Такие ПАВ могут найти применение в различных технических и медико-биологических направлениях.

Целью работы было проведение реакции аминирования гуминовых кислот мочевиной, циангидрином или гидроперитом механохимическим методом в вибрационном аппарате и исследование продуктов реакции методом дилатационной реологии.

**Основная часть.** Механохимические твердофазные реакции гуминовой кислоты с аминосодержащими субстратами проводили в вибрационном аппарате 75Т-ДрМ при частоте вибрации  $v = 50$  Гц и амплитуде  $A = 3,0 \div 5,0$  мм. После обработки смеси компонентов в механореакторе продукты реакции многократно промывали водой для отделения избытков водорастворимых непрореагировавших исходных аминосодержащих компонентов. Нерастворимые в воде производные аминогуминовых кислот отделяли центрифугированием. Дилатационный модуль вязкоупругости растворов солей ГК (гуматы натрия, ГН),  $|E|$  (мН/м), измеряли методом формы осциллирующей капли (тензиометр PAT-2P SINTERFACE Technologies, Germany) при частотах осцилляции в диапазоне  $f = 0,01 \div 0,2$  Гц.

Модуль  $|E|$  выражается комплексным числом, и включает реальную и мнимую компоненты:  $E(i\Omega) = E_r + iE_i$ . Реальная часть  $|E_r|$  (модуль упругости) отражает накопление энергии, а мнимая часть  $|E_i|$  – потери

энергии в поверхностном слое вследствие релаксационных процессов (модуль вязкости). Выражения для модуля вязкоупругости  $|E|$  и фазового угла  $\phi$  имеют вид [3]:

$$|E| = \sqrt{iE_i^2 + E_r^2}, \quad \phi = \arctg(iE_i / E_r),$$

Величины  $|E_r|$ ,  $|E_i|$  и  $\phi$  рассчитывали с использованием программного обеспечения прибора.

Дилатационные реологические характеристики межфазной поверхности позволяют получать новую важную информацию о процессах формирования и структуре адсорбционных слоев высокомолекулярных полиэлектролитов.

Как следует из рис. 1, величины модулей вязкоупругости и упругости возрастают при увеличении частоты осцилляции капли. Значения  $|E|$  и  $E_r$  значительно выше для образца ГН<sub>ГК+мочевина</sub>. При этом для всех образцов величины  $|E|$  и  $E_r$  слабо различаются. Модуль  $E_i$  и величина фазового угла уменьшаются с ростом частоты осцилляции капли для всех образцов ГН (рис. 2). Такое поведение (рис. 1 и 2) характерно для упругих поверхностных слоев ПАВ [4].

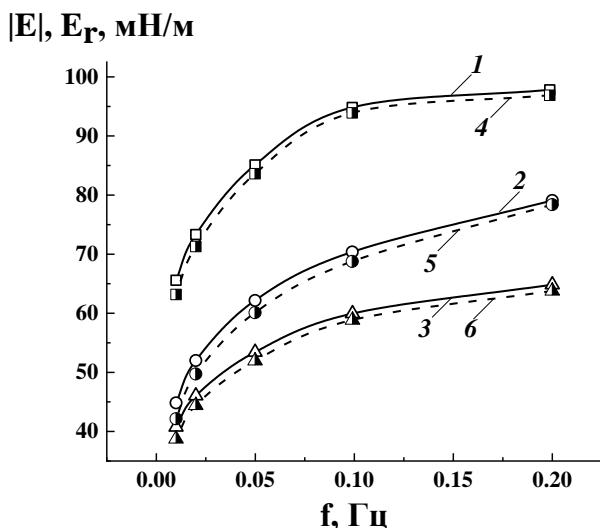


Рис. 1. Изменение величин модуля вязкоупругости (1, 2, 3) и модуля упругости (4, 5, 6) (пунктир) от частоты осцилляции капли для систем: ГН<sub>ГК+мочевина</sub> (1, 4), ГН<sub>ГК+гидроперит.</sub> (2, 5), ГН<sub>ГК+циангидрин</sub> (3, 6)

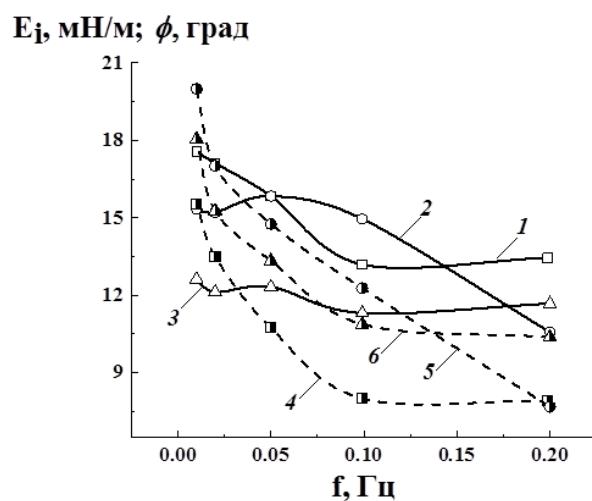


Рис. 2. Изменение величин модуля вязкости (1, 2, 3) и фазового угла (4, 5, 6) (пунктир) от частоты осцилляции капли для систем: ГН<sub>ГК+мочевина</sub> (1, 4), ГН<sub>ГК+гидроперит.</sub> (2, 5), ГН<sub>ГК+циангидрин</sub> (3, 6)

Как следует из рис. 1–3, зависимости  $|E| = f(C)$  для всех модифицированных производных гуминовых кислот имеют выраженный максимум. Максимальные значения модуля дилатационной вязкоупругости ( $|E|$ ) наблюдаются при концентрации растворов  $C \approx 0,1\%$ .

При этой концентрации ПАВ образуются максимально прочные упругие пленки на границе раздела жидкость–газ.

**Заключение.** В результате механохимических реакций гуминовых кислот с мочевиной, гидроперитом или цианганидином получены аминопроизводные ГК, которые обладают выраженным свойствами упругих пленок на границе раздела жидкость–газ при  $C_{\text{ПАВ}} \approx 0,1\%$ .

Реологические характеристики поверхностных слоев наиболее проявляются в образце, полученном при взаимодействии ГК с мочевиной.

### Список литературы

1. Hallmarks of mechanochemistry: from nanoparticles to technology / Baláž P., Achimovičová M., Baláž M., Billik P. // Chem. Soc. Rev. – 2013. – V. 42. – P. 7571-7588.
2. Овчинников Ю.А. Биоорганическая химия // М.: Просвещение, 1987. – 816 с.
3. Optimisation of calculation methods for determination of surface tensions by drop profile analysis tensiometr / Zholob S.A., Makievski A.V., Miller R., Fainerman V.B. // Adv. Colloid Interface Sci. – 2007. – V. 134–135. – P. 322-329.
4. Effect of gastric conditions on beta-lactoglobulin interfacial Networks: Influence of the oil phase on protein structure / Maldonado-Valderrama J., Miller R., Fainerman V.B., Wilde P.J., Morris V.J. // Langmuir. – 2010. – V. 26. – P. 15901-15908.

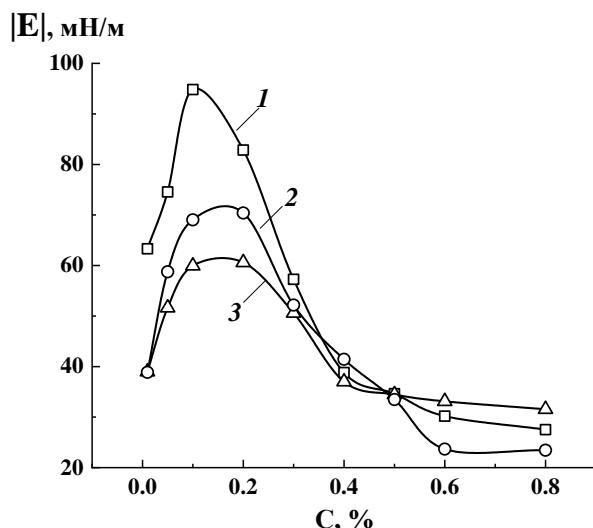


Рис. 3. Изменение величины модуля вязкоупругости от концентрации растворов при частоте осцилляции капли  $f = 0,1$  Гц для систем: 1 – ГНГК+мочевина, 2 – ГНГК+гидроперит, 3 – ГНГК+цианганидин

# **Неорганическая химия**

УДК 546.662:544.228

## **ГАДОЛИНИЙ-СОДЕРЖАЩИЕ ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ ЛАКУНАРНОГО АПАТИТА**

*Игнатов А.В., канд. хим. наук, доц.,  
Жегайло А.О., Михайленко Ю.С.*

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

Научно обоснованно прогнозировать наличие определенных свойств и синтезировать новые материалы с заданными характеристиками возможно только при установлении взаимосвязи между свойствами, составом, способом получения.

Особый интерес для исследователей представляют твердые растворы на основе соединений со структурой апатита, которые позволяют частичное или полное замещение в катионных, а также анионных позициях структуры. Систематические исследования изоморфных замещений нужны для того, чтобы установить факторы, которые определяют характер протекания замещения, то есть, как изменяются при этом параметры элементарной ячейки, влияет ли это на физико-химические характеристики твердых растворов. Полученные при этом материалы обладают комплексом практически важных свойств и могут быть использованы, в качестве стабильных форм для утилизации радиоактивных отходов, сорбентов, твердых электролитов, катализаторов органического синтеза [1].

Особое место среди всех апатитов с общей формулой  $A_{10}(BO_4)_6X_2$  занимают соединения и твердые растворы на их основе, в структуре которых в позиции X не содержатся ионы. Такие соединения называют лакунарными (или соединениями с лакунарной структурой) [2].

Целью данной работы является изучение гадолиний-содержащих твердых растворов на основе структуры лакунарного апатита и установление их области гомогенности.

С целью изучения замещения свинца гадолинием в двойном фосфате свинца натрия (калия) со структурой апатита были получены серии образцов. Навески исходных веществ для синтеза взвешивались в соотношениях в предположении образования твердых растворов, состав которых описывается следующими общими формулами:

$Pb_{8-2x}Gd_xM_{2+x}(PO_4)_6$ ,  $Ca_2Pb_{6-2x}Gd_xNa_{2+x}(PO_4)_6$ ,  $Sr_2Pb_{6-2x}Gd_xNa_{2+x}(PO_4)_6$ ;  
 $M = Na, K$ .

Образование твердых растворов указанного состава происходит вследствие протекания замещения свинца редкоземельным элементом гадолинием по схеме  $2\text{Pb}^{2+} \rightarrow \text{Gd}^{3+} + \text{M}^+$  в двойном фосфате свинца натрия (калия) со структурой апатита и его кальций- и стронцийсодержащих твердых растворах.

Синтез проводился по методике, в которой компоненты образцов гомогенизировались в подкисленном азотной кислотой водном растворе. Такая методика известна под названием «полукерамическая технология». По сравнению с классической методикой твердофазного синтеза («керамическая технология»), преимущество «полукерамической технологии» заключается в том, что перемешивание компонентов исходных веществ в растворе осуществляется в существенно большей степени, чем при перетирании в ступке или гомогенизации в шаровой мельнице.

Все полученные образцы исследовались методами рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии и инфракрасной спектроскопии.

Методом рентгенофазового анализа для полученных серий образцов установлены пределы изоморфного замещения свинца гадолинием в двойном фосфате свинца натрия (калия) со структурой апатита и его кальций- и стронцийсодержащих твердых растворах. Протекание замещения свинца на гадолиний подтверждается изменением параметров элементарной гексагональной ячейки структуры апатита и приводит к их уменьшению с увеличением содержания гадолиния в твердых растворах в области гомогенности.

Для подтверждения отсутствия возможной возгонки свинца и натрия во время синтеза и соответствия содержания химических элементов в образцах предполагаемому составу некоторые образцы исследовались методом сканирующей электронной микроскопии.

Результаты рентгеноспектрального микроанализа образцов свидетельствуют об отсутствии существенной возгонки свинца и натрия в процессе синтеза. Кроме того, также следует отметить, что химические элементы практически равномерно распределены по поверхности зерен, тем самым подтверждая образование однородных образцов.

Морфология поверхности образцов и оценка размеров зерен также исследовалась методом сканирующей электронной микроскопии, согласно результатам которой полученные образцы являются мелкодисперсными, а все химические элементы равномерно распределены по поверхности образца.

## Список литературы

1. White, T. Apatite – An Adaptive Framework Structure / T. White, C. Ferraris, J. Kim, S. Madhavi // Reviews in Mineralogy & Geochemistry. – 2005. – V. 57. – P. 307-401.
2. Koumiri, M. E. The crystal structure of lacunar apatite  $\text{NaPb}_4(\text{PO}_4)_3$  / M. E. Koumiri, S. Oishi, S. Sato // Mat. Res. Bull. – 2000. – V. 35. – P. 503-513.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ИССЛЕДОВАНИИ СВОЙСТВ И ПРИМЕНЕНИИ ПОЛИОКСОМЕТАЛЛАТОВ

*Мороз Я.А.*, канд. хим. наук, с.н.с.,  
*Лозинский Н.С.*, канд. техн. наук., с.н.с.

ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»  
г. Донецк, ДНР  
*jaroslavchem@mail.ru*

**Введение.** Полиоксометаллаты привлекают внимание исследователей в различных областях науки и технологий на протяжении уже более 150 лет. В начале XXI века количество патентов и публикаций по этой теме продолжает активно расти и составляет несколько сотен в год [1, 2]. При этом основная часть исследований направлена на изучение возможностей применения этих соединений в новых отраслях катализа, материаловедения, энергетики, биологии и медицины. Это обусловлено тем, что строение полиоксометаллатов позволяет целенаправленно конструировать и изменять кислотные, окислительно-восстановительные, оптические, магнитные и другие свойства этих соединений и контролировать их на молекулярном уровне.

Целью данной работы является анализ современных тенденций исследования и применения полиоксометаллатов.

**Основная часть.** Современные тенденции в исследовании свойств и применения полиоксометаллатов приведены на схеме. Традиционной областью применения полиоксометаллатов является химический анализ. Это обусловлено высокими коэффициентами поглощения в близкой ультрафиолетовой и видимой области спектра восстановленных форм гетерополиоксометаллатов, способностью Mo и W образовывать комплексы со многими элементами Периодической таблицы, быстрым достижением равновесных концентраций, хорошей экстракцией в органические растворители и т.д. Катализ – также классическая область использования этих соединений. Высокая активность и селективность катализаторов на основе полиоксометаллатов связана с их сильными кислотными свойствами ( $pK < 0$ ) и высокими окислительно-восстановительными потенциалами, при этом они принимают, а затем отдают электроны без существенных изменений своей структуры. Эти свойства делают их привлекательными также в качестве ингибиторов окислительной и пленкообразующей коррозии металлов и сплавов.

Способность полиоксометаллатов образовывать осадки с катионными красителями привела к значительной патентной активности в отраслях промышленности, связанных с пигментами, красителями и

тонерами для принтеров и т.д. По-прежнему существует необходимость в более эффективном контроле размера и распределения частиц по размерам, площади поверхности и качестве цвета, что достигается введением нерастворимых комплексов полиоксометаллатов с различными красителями [1].



Схема. Современные тенденции в исследовании свойств и применении полиоксометаллатов

Создано большое количество устройств и датчиков на основе мембран, которые используют высокую ионную проводимость полиоксометаллатов, их способность образовывать множество солей различными катионами и вступать в окислительно-восстановительные

процессы в мягких условиях. Наиболее часто эти мембранные технологии используются в селективных электродах, в устройствах обнаружения газов, в твердотельных электрохромных устройствах, а также электрохимических ячейках и топливных элементах.

Дальнейшее развитие химии полиоксометаллатов связано с исследованиями в области фотокаталитических процессов с участием этого типа соединений. Полиоксометаллаты светочувствительны в ближней ультрафиолетовой и видимой области спектра, что является основой для использования этих соединений в процессах фотокаталитического окисления органических соединений, разложения воды для производства водорода, фотоэлектрохимического производства электроэнергии и др. Получены многообещающие результаты с их использованием в качестве катализаторов в процессах искусственного фотосинтеза, которые являются основой для разработки новых альтернативных возобновляемых источников энергии [3].

Новым перспективным разделом химии полиоксометаллатов являются исследования по их применению в биологии, медицине и фармакологии, в том числе по противоопухолевой активности, анти-ВИЧ химиотерапии, антиретровирусной фармакологии и др. Установлено, что полиоксометаллаты являются новым типом ингибиторов специфического белка киназы, фермента, проявляющего высокую активность при ряде онкологических заболеваний. Эти соединения являются наиболее эффективными ингибиторами киназы из всех известных в настоящее время [3–5].

Перспективным интенсивно развивающимся направлением химии полиоксометаллатов является их использование как строительных блоков для получения наноразмерных молекулярных комплексов и координационных полимеров, химическое конструирование гомо- и гетероядерных полиоксометаллатных кластеров, содержащих органические и металлоганические соединения, создание новых технологий и прекурсоров для получения наноматериалов с участием полиоксометаллатов, исследование их свойств и возможностей применения в материаловедении, энергетике, биологии и медицине.

## **Список литературы**

1. Katsoulis D.E. A Survey of Applications of Polyoxometalates // Chemical Reviews. – 1998. – Vol. 98, № 1. – P. 359-387.
2. Мороз Я.А. Исследование стадий развития химии изо- и гетерополисоединений // Современная химия: успехи и достижения. Материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Казань, май 2018 г.). – Казань: Молодой ученый, 2018. – С. 26-32.
3. Roy S. Polyoxometalates in Catalysis, Biology, Energy and Materials Science. / S. Roy, D.C. Crans, T.N. Parac-Vogt, eds. – Lausanne: Frontiers Media SA, 2019. – 224 p. – URL: <https://doi.org/10.3389/978-2-88963-233-6>

4. Prudent R. Identification of Polyoxometalates as Nanomolar Noncompetitive Inhibitors of Protein Kinase CK2 / R. Prudent, V. Moucadel, B. Laudet et al. // Chemistry and Biology. 2008. Vol. 15. N 7. P. 682–692. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2008.05.018>
5. Материалы с заданными свойствами на переходе к новому технологическому укладу: химические технологии: сб. материалов II научно-технической конференции (Москва, 29 октября 2020 г.). – Москва: НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА, 2020. – С. 29.

УДК 546.26-162

## ХЛОРИД НАТРИЯ, КАК НОСИТЕЛЬ МЕТАЛЛОКСИДНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ТЕМПЛАТНОГО СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

*Прудченко А.П.*, канд. хим. наук,  
*Савоськин М.В.*, канд. хим. наук, с.н.с.,  
*Полякова О.Ю.*, *Протасевич Ю.С.*

ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»,  
г. Донецк, ДНР  
*prudchenko.a@yandex.ru*

**Введение.** Синтез эффективных, высокоселективных металлоксидных катализаторов (МОК), использующихся в процессах получения углеродных нанотрубок (УНТ) методом осаждения углерода из газовой фазы (CVD), является актуальной задачей [1]. Кроме проблемы получения ультрадисперсных, обладающих высокой удельной поверхностью МОК с равномерным распределением активных компонентов по поверхности носителя, важным фактором в процессе получения УНТ, а также их выделения, является природа носителя катализатора. CVD – синтез УНТ, основанный на принципах темплатного синтеза, предполагает удаление темплата (носителя), что во многих случаях, с учетом природы носителя, связано с применением сильных кислот и оснований. В связи с этим, поиски исследователей направлены на получение МОК с легкоудаляемыми носителями, позволяющими в значительной степени упростить процесс выделения УНТ.

**Целью** настоящей работы был синтез металлоксидных катализаторов роста УНТ общего состава  $\text{Ni}_2\text{Co} / \text{NaCl}$  с использованием метода полимеризованных комплексных предшественников (ПКП) [2]. Выбор носителя МОК ( $\text{NaCl}$ ) объясняется высокой растворимостью хлорида натрия в воде. Эффективность синтезированных катализаторов оценивали по результатам темплатного синтеза УНТ в процессе осаждения углерода из газовой фазы (CCVD – процесс).

**Результат.** Синтез МОК проводился при мольном соотношении компонентов  $\text{Ni}_2\text{Co} : \text{NaCl}$  от 0,1 : 1 до 0,4 : 1. CCVD – синтез УНТ с использованием полученных катализаторов проводили в трубчатом реакторе в температурном интервале 500 – 750 °C (газ-носитель – Ar, 60 см<sup>3</sup>/мин и газ-прекурсор углерода – коммерческая пропан-бутановая смесь по ГОСТ 27578-87, 30 см<sup>3</sup>/мин). Следует отметить, что комплекс МОК – NaCl, по сравнению с традиционными МОК – ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), отличается довольно высокой насыпной плотностью (0,2 против 0,02 г/см<sup>3</sup>), что косвенно свидетельствует о сохранении типа кристаллической решетки (кубической сингонии), присущей NaCl. Применение метода ПКП позволило получить нанесенные МОК с равномерным распределением частиц Ni и Co по поверхности и в объеме носителя NaCl (рис. 1, а), однако размер кластеров активных металлов был существенно выше полученных на более основных носителях ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и составлял 150–250 нм. Выделение углеродных продуктов проводили либо кипячением углерод – минерального комплекса (МОК / NaCl / УНМ) в 30 % соляной кислоте, либо последовательной обработкой деионизированной водой и концентрированной HCl. Необходимо отметить, что в диапазоне температур CCVD – синтеза 650 – 750 °C и использовании МОК с различным мольным содержанием активных металлов углеродные продукты обладали высокой магнитной восприимчивостью и намагничиваемостью, причем она сохранялась и после обработки кислотой. Исследование полученных УНМ при помощи просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), установило наличие не только УНТ, но и УНМ в виде глобулярных углеродных структур по типу «ядро – оболочка» с инкапсулированными металлическими частицами (рис. 1, б, в).

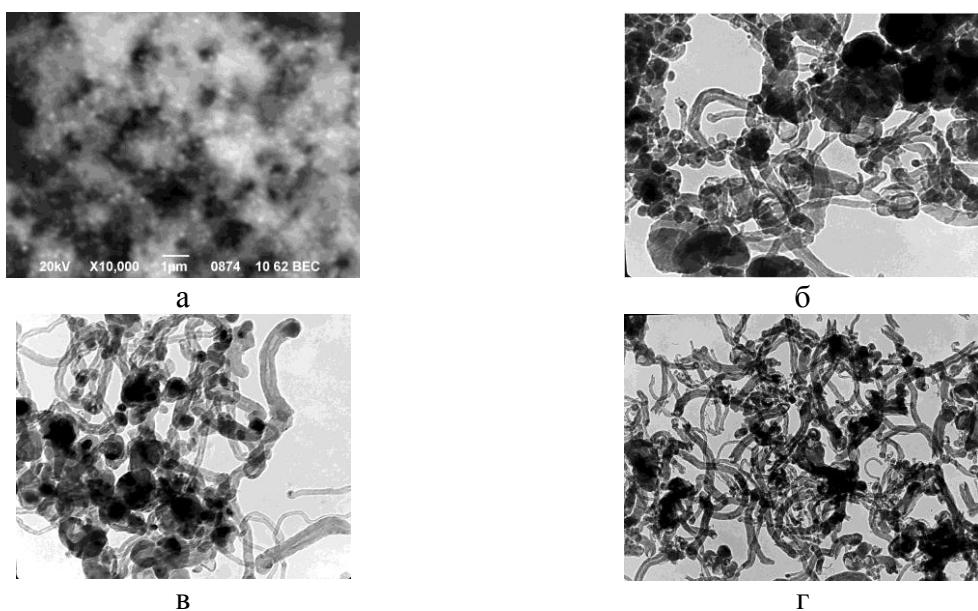


Рис. 1. СЭМ – микрофотография частиц: МОК / NaCl – а; ПЭМ – изображение УНТ (УНМ): Т = 650 °C – б; Т = 750 °C – в; Т = 500 °C – г

Проведение ССВД – синтеза при 500 °C позволяет получить чистые без примесей металлов УНТ диаметром 30–100 нм с открытыми концами (рис. 1, г, рис. 2, А, кривая 1). Установлено, что содержание инкапсулированных частиц, а также мольной доли «не удаляемых металлов» растет с ростом мольной доли Ni<sub>2</sub>Co в составе катализатора, что видно по росту интенсивности рефлекса (111)  $\beta$  – Со при  $2\theta = 44,24$  (рис. 2, А, кривые 2, 3, 4). Показано, что увеличение температуры синтеза и мольной доли металлов в составе катализатора ведет к увеличению удельного выхода УНМ, но снижает селективность и удельную производительность процесса (рис. 2, Б, кривые 1, 2).

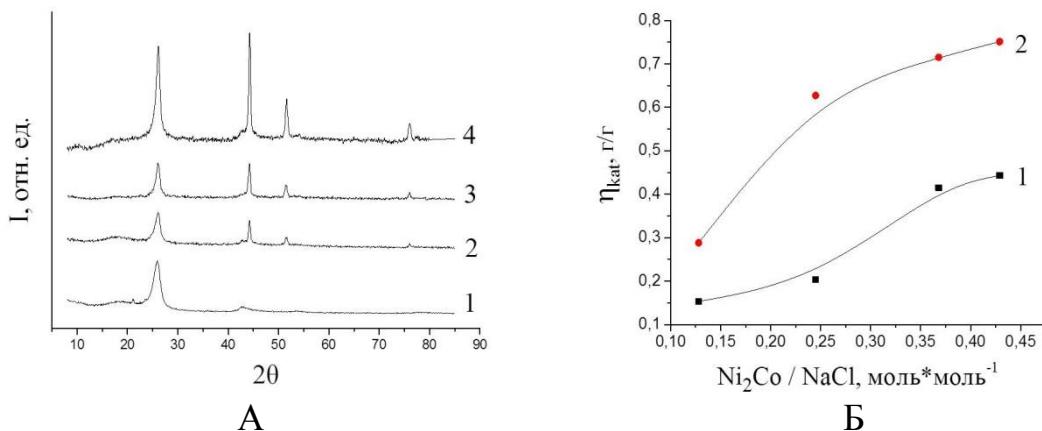


Рис. 2. А – Рентгеновские дифрактограммы УНМ, Ni<sub>2</sub>Co / NaCl, T °C: 0.37, 500 °C – 1; 0.12, 750 °C – 2; 0.25, 750 °C – 3; 0.37, 750 °C – 4;  
Б – Зависимость удельного выхода УНМ от мольной доли Ni<sub>2</sub>Co:  
650 °C – кривая 1; 750 °C – кривая 2

**Заключение.** Сделано предположение, что наблюдаемые закономерности связаны с особенностями ионной решетки NaCl, слабым взаимодействием оксидов активных металлов и металлов с поверхностью носителя. Последнее является, по нашему мнению, причиной повышенной подвижности частиц металлов при повышении температуры процесса, их слияния, образования кластеров больших размеров. При превышении определенного критического радиуса частиц рост УНТ прекращается и замещается накоплениемnanoуглерода в виде нанографита с увеличенным, по сравнению с природным графитом, межслоевым расстоянием.

### Список литературы

1. Carbon nanotubes via different catalysts and the important factors that affect their production: A review on catalyst preferences / G. Allaedini [et al] // Int. J. Nano Dimens., 2016. – Vol. 7 (3). – P. 186-200.
2. Прудченко А. П. Темплатный синтез углеродных нанотрубок в ССВД - процессе: влияние способа нанесения катализатора на морфологию частиц и удельный выход УНТ / А. П. Прудченко [и др] // Материалы 5-й Международной научно-практической конференции «Иновационные перспективы Донбасса», г. Донецк, 21-23 мая 2019 г. – Т. 4: Перспективные направления развития экологии и химической технологии. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – С. 40-44.

## О МЕХАНИЗМЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПАВ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ СВИНЦА ИЗ ОТРАБОТАННЫХ СВИНЦОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

*Рипная М.М., Сердюк А.И.*, д-р хим. наук, проф.

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

**Введение.** Особую опасность представляют свинцово-кислотные аккумуляторы, так как в них содержатся тяжелые металлы, кислоты, которые, попадая в воздух, воду или почву, наносят значительный ущерб окружающей среде.

Основная цель переработки автомобильных аккумуляторов заключается в предотвращении попадания опасных веществ в окружающую среду.

При электрохимической переработке свинца в промышленности обычно применяют кремний- и борфтористоводородные растворы. Борфтористоводородные электролиты более устойчивы и менее чувствительны к загрязнению посторонними металлами.

В работе [1] показано, что выбросы с поверхности борфтористоводородного электролита в 10 раз более низкие, чем при использовании кремнийфтористоводородного электролита при 25 °C.

Поверхностно активные вещества (ПАВ), входящие в состав борфтористоводородного электролита повышают технологические параметры вновь образованного свинцового покрытия, улучшая микроструктуру поверхностного слоя.

ПАВ - сульфитно-спиртовая барда (ССБ) — отход лесохимических производств, образующийся при сульфитной варке древесной целлюлозы.

Наличие в растворах электролитов ПАВ приводит к снижению их поверхностного натяжения, что может оказывать влияние на выбросы фторидов с зеркала электролита.

Для определения фторидов использовали фотоколориметрический метод с ализарин-комплексоном и нитратом лантана [2].

Фотометрическое определение свинца и его соединений в воздухе проводилось согласно методическим указаниям [3].

Определение поверхностного натяжения проводилось методом наибольшего давления газовых пузырьков [4].

Целью данной работы является определение количественной зависимости выбросов фторидов и соединений свинца в атмосферу от поверхностного натяжения электролита в результате изменения концентрации добавки ПАВ – ССБ.

**Основная часть.** Для исследования использовался электролит определенного состава с добавлением ССБ в различных концентрациях (0–1 г/л). Рабочая катодная плотность тока составляла 0,8 от максимально допустимой.

Изучили воздействие концентрации ССБ на поверхностное натяжение ( $\sigma$ ) электролита на границе с воздухом и представили абсолютные и удельные выбросы фторидов и свинца с зеркала борфтористоводородного электролита при температуре 25 °C (табл.1).

Таблица 1

Абсолютные и удельные выбросы фторидов и соединений свинца с поверхности электролита, рабочая допустимая плотность тока (Дк) и скорость осаждения свинца на катоде в зависимости от поверхностного натяжения ( $\sigma$ ) электролита на границе с воздухом от концентрации ССБ (Сссб) в электролите при 25°C

Сссб, г/л	$\sigma$ , мН/м	Абсолютные выбросы фторидов, г/(час·м <sup>2</sup> )	Абсолютные выбросы свинца, г/(час·м <sup>2</sup> )	Дк, А/м <sup>2</sup>	Удельные выбросы фторидов, г/(час·кг· м <sup>2</sup> )	Скорость осаждения свинца на катоде, кг/(м <sup>2</sup> ·час)	Удельные выбросы свинца, г/(час·кг · м <sup>2</sup> )
0	74,6	1,38	0,0030	189	4,45	0,31	0,0113
0,19	70,5	1,41	0,0040	195	3,71	0,38	0,0105
0,45	62,6	1,84	0,0050	222	3,61	0,51	0,0100
0,5	60,5	2,26	0,0062	256	3,53	0,64	0,0098
0,6	57,1	2,45	0,0070	261	3,45	0,71	0,0098
0,7	56,8	2,85	0,0083	270	3,43	0,83	0,0097
0,84	50,9	3,48	0,0087	295	3,41	1,02	0,0085
0,96	48,4	3,52	0,0095	315	3,32	1,06	0,0086
1	44,8	4,06	0,010	320	3,27	1,24	0,0081

По табличным данным наблюдается рост выбросов фторидов и свинца по мере уменьшения поверхностного натяжения на границе раствор – воздух.

Изменение выбросов фторидов ( $V_f$ ) и свинца ( $V_{Pb}$ ) от величины поверхностного натяжения описывается по методу наименьших квадратов (МНК) следующими уравнениями:

$$V_f = -0,0952 \times \sigma + 8,1504 \quad (1)$$

$$V_{Pb} = 0,0001 \times \sigma + 0,0037 \quad (2)$$

Так как на поверхностное натяжение электролита состав его неорганической части мало влияет (изменения величины поверхностного натяжения в зависимости от состава электролита за исключением ПАВ находится в пределах её ошибки определения), то представленные

уравнения могут быть применимы для борфтористоводородного электролита любого состава при 25°С.

По мере увеличения концентрации ПАВ и уменьшения поверхностного натяжения на границе раствор-воздух наблюдаем увеличение  $\Delta\kappa$  (189–320 А/м<sup>2</sup>), но ПАВ также понижает межфазное поверхностное натяжение на границе раздела свинец – электролит. По-видимому, этим можно объяснить усиление рассеивающей способности электролита с ростом концентрации ССБ и увеличение  $\Delta\kappa$ . Пропорционально  $\Delta\kappa$  растет скорость осаждения свинца на катоде, и также уменьшаются удельные выбросы фторидов и свинца, приходящиеся на единицу массы выделенного свинца.

**Заключение.** Таким образом, введение в состав электролита добавки ССБ, несмотря на увеличение абсолютных выбросов фторидов и свинца в атмосферу, приводит к росту скорости извлечения свинца из раствора и уменьшению удельных выбросов данных загрязняющих веществ.

Представленные результаты могут быть использованы в научно-исследовательской деятельности, например, для разработки новых составов электролитов, обеспечивающих более высокую экологическую безопасность электрохимической технологии переработки свинцово-кислотных аккумуляторных батарей.

### Список литературы

1. Сердюк А.И. Повышение экологической безопасности при переработке отработанных свинцово-кислых аккумуляторов в борфтористоводородном электролите / А.И. Сердюк, М.М. Ялалова // Научно-техн. журнал «Строительство и техногенная безопасность». – Симферополь: ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», 2018. - №10(62). – С. 201-209.
2. Методические указания на фотометрическое определение фтористого водорода в воздухе / МУ (Методические указания) от 23 сентября 1980 г. № 2246-80.
3. МУ 2013-79 Методические указания на фотометрическое определение свинца и его соединений в воздухе. – М., 1979. – 19 с.
4. Нигматуллин Н.Г. Физическая и коллоидная химия: Учебное пособие / Н.Г. Нигматуллин. – СПб.: Лань, 2015. – 275 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ  
ГИДРОКСИАПАТИТА КАЛЬЦИЯ С ЦЕЛЬЮ СТИМУЛЯЦИИ  
РОСТА ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ (ФИАЛКИ  
ТРЁХЦВЕТНОЙ)**

*Сидун М.С.<sup>1</sup>*, канд. биол. наук, доц.,

*Скорик М.В.<sup>1</sup>*, канд. вет. наук, *Жегайло А.О.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ГБОУ ВПО «Донбасская аграрная академия», г. Макеевка, ДНР

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

*anatom\_utmz\_donagra@mail.ru*

С целью стимуляции роста лекарственных растений (на примере фиалки трёхцветной) и увеличения их урожайности с дальнейшим их применением в качестве сырья для производства лекарственных форм могут быть использованы комплексные минеральные удобрения пролонгированного действия на основе гидроксиапатитов кальция [1]. Ранее в агрохимии, а также в фармацевтической промышленности метод стимуляции роста лекарственных растений путём применения данных удобрений не применялся [2].

Целью данной работы является синтез комплексных минеральных удобрений на основе гидроксиапатита кальция, модифицированного магнием, медью и цинком, а также исследование эффективности их применения в качестве стимуляторов роста лекарственных растений на примере фиалки трехцветной. Изучение возможностей применения этих веществ в качестве комплексных минеральных удобрений открывает новые перспективы в агрохимии, фармации и медицине [3].

На основе гидроксиапатита, модифицированного магнием, медью и цинком осуществлялся синтез комплексных минеральных удобрений. Для синтеза гидроксиапатитов состава  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}_9\text{Mg}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}_9\text{Cu}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}_9\text{Zn}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  в качестве исходных веществ использовались следующие соединения:

- карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$  (квалификация «х.ч.»);
- гидрофосфат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  (квалификация «ч.д.а»);
- оксид магния  $\text{MgO}$  (квалификация «о.с.ч.»);
- оксид меди (II)  $\text{CuO}$  (квалификация «х.ч.»);
- оксид цинка  $\text{ZnO}$  (квалификация «ч.д.а»).

Синтез указанных образцов осуществлялся, используя «полукерамическую» методику синтеза гидроксиапатитов. Исследование образцов проводилось методами рентгенофазового анализа на модернизированном дифрактометре ДРОН-3М ( $\text{CuK}_\alpha$ -излучение, Ni-фильтр) с электронным управлением и обработкой результатов.

Результаты рентгенофазового анализа показали, фаза структуры апатита образуется для каждого синтезируемого образца определённого состава, состав их согласуется с предполагаемым составом (рис. 1).

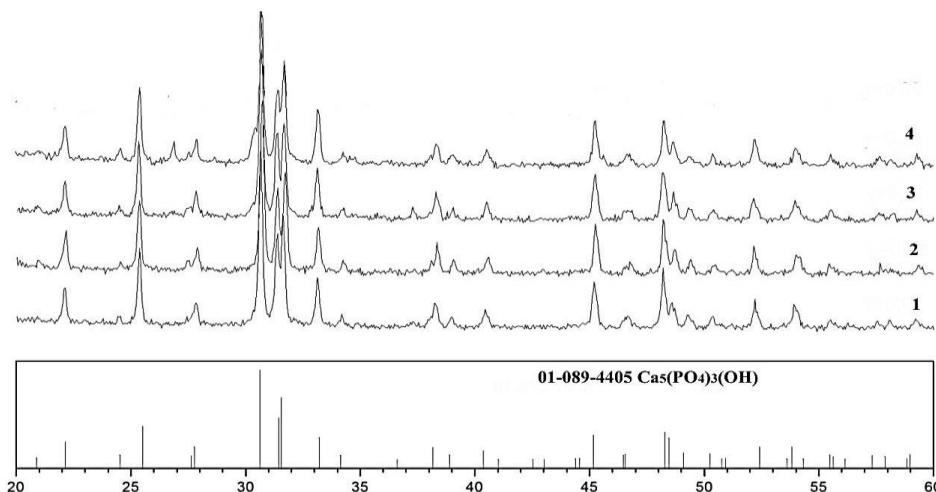


Рис. 1. Рентгенограммы образцов  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (1),  $\text{Ca}_9\text{Mg}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (2),  $\text{Ca}_9\text{Cu}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (3),  $\text{Ca}_9\text{Zn}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (4) и штрих-рентгенограмма  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ .

Следовательно, синтезируемые образцы согласуются с предполагаемым нами составом и имеют структуру апатита. Полученные образцы можно отнести к классу фосфорных удобрений (таких как гидроксиапатит кальция), нерастворимых в воде, но растворимых в слабых кислотах, модифицированных такими добавками как магний, медь, цинк, что является эффективным в условиях кислой реакции среды почв Донбасса [5–7].

В качестве тест-объекта для оценки влияния удобрений на рост растений использовалась лекарственная фиалка трёхцветная (*Saintpaulia*), характеризующаяся быстрым ростом, хорошей всхожестью, а также высокой чувствительностью к воздействующим факторам. Результаты оценивали по всхожести новых листьев в каждой серии, состоянию и цвету листьев, наличию цветения. Полученные данные сравнивали относительно контроля. Обнаружено, что все изученные удобрения на основе гидроксиапатита кальция проявляют повышенные ростостимулирующие свойства по отношению к лекарственным растениям и обладают пролонгированным действием. Установлено также, что применение удобрения состава  $\text{Ca}_9\text{Mg}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  способствует наиболее выраженному увеличению показателей роста, а также усилиению цветения относительно контроля и других образцов (рис. 2).

Таким образом, при помощи «полукерамической» методики синтеза получен ряд удобрений на основе гидроксиапатита кальция, которые проявляют повышенные ростостимулирующие свойства и обладают пролонгированным действием по отношению к лекарственным растениям.

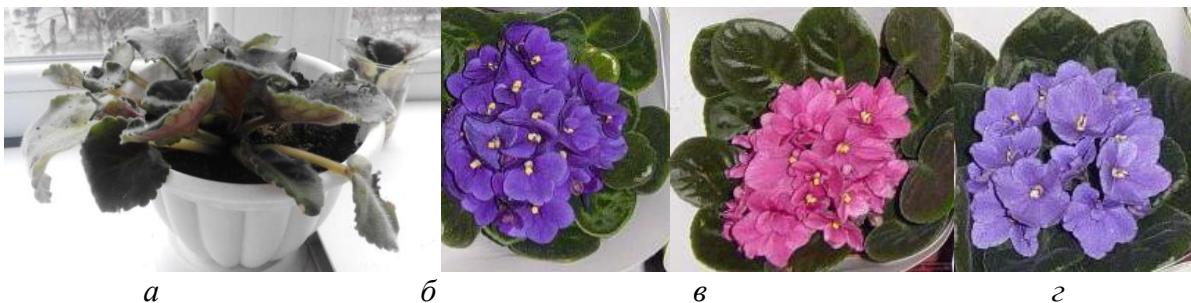


Рис. 2. Исследуемые образцы фиалок: а – контрольный образец; б, в, г – экспериментальные образцы после использования исследуемых удобрений

### Список литературы

1. Божков, Д.В. Влияние удобрений на минеральное питание озимой пшеницы / Д. В. Божков. – М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2011. – 100 с.
2. Евтефеев, Ю.В. Основы агрономии / Ю.В. Евтифеев, Г.М. Казанцев. – М.: Форум, 2008. – 368 с.
3. Кореньков, Д.А. Удобрения и их способы использования / Д.А. Кореньков, И.И. Синягин, А.В. Петербургский и др. Под ред. Коренькова. – М.: Колос, 1982. – 415 с.
4. Плешков, Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений: учеб. для студ. вузов / Б.П. Плешков. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1987. – 486 с.
5. Погосова, М.А. Материалы со структурой апатита: области применения, основные методы синтеза и анализа / Погосова М.А. – Москва, 2012. – 45 с.
6. Apatite – an Adaptive Framework Structure [Text]/ Tim White et al. // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. – 2005. – Vol. 57. – P. 307-401.
7. Yu Liu. Some aspects of the crystal-chemistry of apatites [Text]/ Yu Liu // Mineralogical Magazine. – 1993. – Vol. 57. – P. 709-719.

УДК 546.41 + 546.881.5

## СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ЛАКУНАРНОГО АПАТИТА СВИНЦА, МОДИФИЦИРОВАННОГО КАЛЬЦИЕМ И ЛАНТАНОМ

**Ткаченко Д.В., Яблочкова Н.В.**, канд. хим. наук, доц.  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*n.iablochkova@donnu.ru*

**Введение.** Соединения со структурой апатита интенсивно изучаются в последние годы. Причина тому – их уникальные свойства и способность образовывать твердые растворы с разными элементами периодической системы. Материалы на основе модифицированных апатитов находят применение как люминофоры, пьезоэлектрики, сорбенты для хроматографии, пищевые добавки, материалы для имплантации, сорбенты тяжелых металлов и радионуклидов и многое другое. Родоначальник этого

структурного типа, который занимает особое место среди материалов данного класса – кальциевый гидроксиапатит  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . Его можно считать неорганическим аналогом минеральной составляющей твердых тканей животных и людей (костей и зубов). Поэтому такой состав успешно служит базовым компонентом синтетических материалов для ортопедии и стоматологии. Если же говорить об апатитах свинца, то твердые растворы за счет наличия в структуре катионов щелочных металлов, стабилизирующих ее, становятся твердыми электролитами с катионной проводимостью, а при модификации редкоземельными элементами – люминофорами.

**Основная часть.** В данной работе было исследовано замещение свинца на лантан в структуре лакунарного апатита по схеме:



Синтез твердых растворов проводили полукерамическим методом. Рассчитывали массы навесок, взвешивали реагенты, растворяли в концентрированной азотной кислоте с добавлением твердого нитрата аммония и глицерина. После чего полученный раствор упаривали, а твердый остаток подвергали высокотемпературной обработке в интервале температур 500–800 °C. Прокаливание при максимальной температуре синтеза 800 °C проводили до достижения постоянства фазового состава, который контролировали методом РФА (diffractometer ДРОН-3М,  $\text{CuK}_\alpha$  излучение, Ni фильтр).

**Заключение.** Установлена область гомогенности при замещении свинца лантаном, рассчитаны параметры элементарной ячейки в сериях исследуемых образцов. Измерением сопротивления керамических образцов получена зависимость электрической проводимости от температуры.

УДК 546.26-162

## ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ НАНОУГЛЕРОДА

*Хрипунов С.В.*, канд. хим. наук, *Прудченко А.П.*, канд. хим. наук,

*Савоськин М.В.*, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.,

*Протасевич Ю.С.*, *Полякова О.Ю.*

ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»,

г. Донецк, ДНР

*prudchenko.a@yandex.ru*

**Введение.** В последние два десятилетия на фоне все более возрастающего загрязнения окружающей среды резко вырос запрос на эффективные адсорбенты на основе углеродных наноматериалов (УНМ). Это связано с их уникальной физической и химической устойчивостью, большой удельной площадью поверхности, способностью к регенерации.

Для улучшения функциональных свойств УНМ, как правило, необходима «пришивка» по поверхности OH, COOH, NH<sub>2</sub> – групп. Обычно такая функционализация проводится с использованием сильных окислительных агентов (конц. HNO<sub>3</sub>, смеси HNO<sub>3</sub> – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и т. д) и в довольно жестких условиях. Поэтому поиск эффективных методов получения функциональных материалов на основе УНМ с использованием более мягких окислительных агентов является актуальной задачей.

**Целью** данной работы была проверка эффективности применения азотной кислоты и гипохлорита натрия, как окислителей, в процессе функционализации наноуглерода (НГ) в виде несовершенного нанографита (НГ), полученного методом осаждения из газовой фазы (CVD – метод) [1], а также сравнение с результатами аналогичного воздействия на контрольный образец природного графита (Г).

**Результаты.** В качестве вещества сравнения был выбран природный очищенный графит (Superiet Graphite, Formula BT 2935 АРЦ, USA). Фазовый состав углеродных продуктов (исходных и полученных после обработки наноуглеродов и графита) определяли на приборе ДРОН-3. В качестве окисляющих реагентов использовали азотную кислоту (98 %) и коммерческий водный раствор гипохлорита натрия (ТУУ 24.5-13498349-001-2004). Методика обработки состояла в том, что к навеске НГ (Г) при комнатной температуре прибавляли азотную кислоту (98 %) при мольном соотношении 3,4 / 1 и тщательно перемешивали до образования подвижного, рассыпчатого порошка слоистого соединения интеркалирования – нитрата НГ (Г). К полученному продукту при перемешивании и температуре 25 °С прибавляли раствор гипохлорита натрия в соотношении НГ (Г) / NaOCl, равном 0,95 / 1, выдерживали в течение 4-х часов, после чего фильтровали, промывали дистиллированной водой до полного обесцвечивания фильтрата (pH 7). Промытый продукт высушивали при 105 °С до постоянной массы. Выход обработанных продуктов для НГ составил 98,6 %, а для Г – 102,0 %. Таким образом, изменения массы исходных углеродных продуктов составили - 1,4 % и + 2,0 % соответственно. Тем не менее, по результатам рентгенофазового анализа, описанная выше обработка приводит к существенным изменениям фазового состава углеродного продукта. Так в случае природного графита (рис.1, кривая, 1), кроме рефлекса (002) при  $2\theta_{max} = 26,32^\circ$  появляется

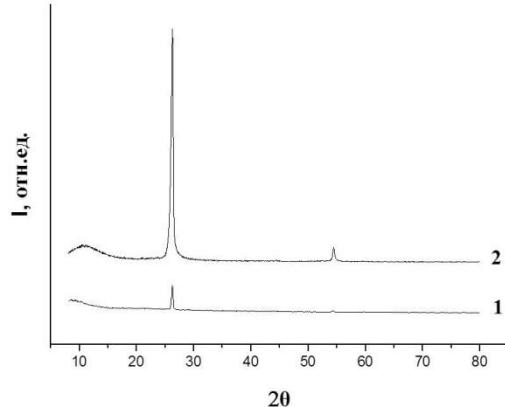


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы: природный графит – 1; продукт обработки графита – 2

широкий и довольно интенсивный рефлекс при  $2\theta_{\max} = 10,8^\circ$ , соответствующий согласно [2] оксиду графита (рис.1, кривая, 2).

Таким образом, последовательная обработка графита конц.  $\text{HNO}_3$  с образованием нитрата графита, его гидролиз в присутствии гипохлорита натрия, приводят к функционализации определенной части поверхности (образование ОГ) весьма совершенного по строению и малореакционноспособного графита. Исходя из полученных данных, мы предположили, что для наноуглерода (НГ), размер частиц которого на 1 – 2 порядка меньше, а количество дефектов структуры гораздо больше в сравнении с графитом, подобная обработка приведет к значительным изменениям фазового состава УНМ. Вследствие этого обработке был подвергнут образец наноуглерода, полученный CVD – методом на кальциите при  $900^\circ\text{C}$  (рентгенограмма НГ представлена на рис. 2, кривая, 1). Наличие на дифрактограмме рефлексов  $2\theta = 25,12^\circ$  (002),  $18 - 22,08^\circ$  свидетельствует о наличии как минимум двух видов НГ с разной степенью графитизации.

На дифрактограмме продукта обработки НГ (рис. 2, кривая, 2) присутствуют только рефлексы ( $2\theta = 25,16^\circ$ ), относящиеся к фазе наноуглерода высокой степени графитизации. Данный факт свидетельствует о преимущественном воздействии окисляющих агентов на частицы НГ с большим количеством дефектов структуры.

Такое взаимодействие, по нашему мнению, приводит к образованию большого количества поверхностных кислотно-основных функциональных групп, повышающих гидрофильные свойства УНМ. Вследствие этого определенная часть дефектного наноуглерода становится водорастворимой и удаляется во время промывки водой продукта окислительной обработки НГ.

**Выводы.** Окислительная обработка НГ с использованием азотной кислоты и гипохлорита натрия приводит к глубокой функционализации поверхности дефектного НУ, что переводит его в водорастворимую форму и позволяет удалять его промывкой водой. Полученный результат может быть использован при разработке оптимальных способов очистки УНМ, полученных CVD – методом.

## Список литературы

1. Хрипунов С. В. Образование комплекса углерода с оксидом кальция в ходе CVD – процесса на кальците / С. В. Хрипунов [и др.] // Материалы V Международной

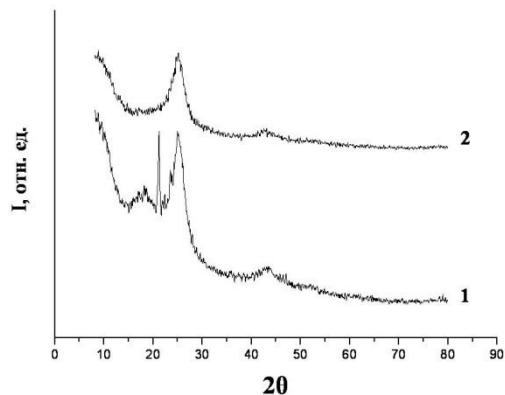


Рис. 2. Рентгеновские дифрактограммы наноуглерода (1) и продукта его обработки (2)

- конференции «Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2020. – Т. 2. – С. 78 – 81.
2. Алемасова Н.В. Особенности исследования состава и свойств оксида графита / Н.В. Алемасова [и др.] // Материалы 4-й Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса», г. Донецк, 22-25 мая 2018 г. – Т. 4: Перспективные направления развития экологии и химической технологии. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – С. 25-28.

УДК 546.65.77.548.4.73

## ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МОЛИБДАТА НЕОДИМА МЕТОДОМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДИФРАКЦИИ НЕЙТРОНОВ

*Чебышев К.А.<sup>1</sup>, Турченко В.А.<sup>2</sup>, Пасечник Л.В.<sup>1</sup>, Селикова Н.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, РФ

*Chebyshев.konst@mail.ru*

Молибдаты редкоземельных элементов со структурой флюорита интенсивно изучаются как ионные проводники с ионной или смешанной проводимостью, люминофоры и катализаторы. Среди них молибдат неодима  $Nd_5Mo_3O_{16+\delta}$  привлекает внимание благодаря высокой ионной проводимости по кислороду [1, 2].

Кристаллическая структура молибдата неодима является производной от структуры флюорита с пространственной группой Рn-Зп. Ионы неодима и молибдена упорядоченно расположены по катионным позициям. Молибден имеет тетраэдрическое окружение и занимает позицию 12d. Неодим располагается в двух кристаллографически неравноценных положениях – 8c и 12e, координационные полиэдры которых представляют собой искаженные кубы.

Молибдат неодима получали золь-гель методом из оксидов неодима и молибдена. Оксид неодима растворялся в небольшом избытке азотной кислоты, а оксид молибдена – в концентрированном растворе аммиака. К растворам металлов добавлялась лимонная кислота для комплексообразования. Далее при постоянном перемешивании растворысливали вместе и добавляли этиленгликоль. Полученный раствор нагревали до 80 °C для испарения избытка воды и полимеризации. В результате образовывался прозрачный гель фиолетового цвета. Разложение геля проводили при 500 °C в муфельной печи с образованием пенообразного рентгеноаморфного продукта. Кристаллическая структура молибдата неодима образуется при температуре 700 °C. Керамические образцы получали одноосным прессованием порошка с добавлением

поливинилового спирта в качестве связующего и прокаливанием при 1100 °C в течение 20 ч.

Кристаллическая структура молибдата неодима была исследована методом дифракции нейтронов высокого разрешения в диапазоне температур 300–700 К в атмосфере воздуха на установке ФДВР импульсного реактора ИБР-2, г. Дубна [3].

Положение атомов CdTm<sub>4</sub>Mo<sub>3</sub>O<sub>16</sub> [4] использовалось в качестве исходной модели для уточнения кристаллической структуры. Все наблюдаемые рефлексы соответствуют пространственной группе Pn-3n (рис. 1). При уточнении заселенности позиций атомов фиксировались, а тепловые параметры рассчитывались в изотропном приближении.

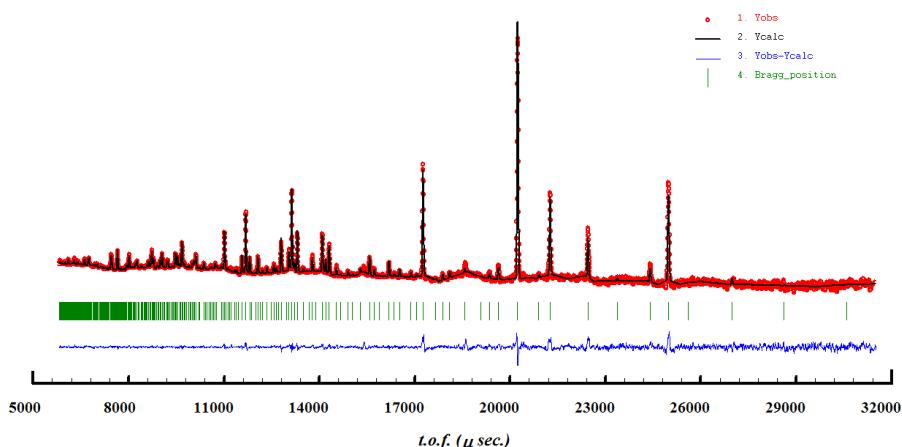


Рис. 1. Нейtronограмма молибдата неодима Nd<sub>5</sub>Mo<sub>3</sub>O<sub>16+δ</sub> при 300 К.

Согласно данным уточнения, межатомные расстояния изменяются нелинейно. Расстояния Nd1-O1 и Nd2-O2 увеличиваются до температуры 500 К, а после 500 К увеличиваются расстояния Nd1-O2 и Nd2-O1. Расстояния Mo-O1 практически не изменяются с повышением температуры. Вероятно, неравномерное изменение расстояний «неодим – кислород» связано с наличием групп MoO<sub>4</sub> с более прочной связью металлокислород, которые меньше деформируются при увеличении температуры.

Температурная зависимость параметра ячейки флюоритоподобной структуры в исследованном диапазоне имеет линейный характер. Это свидетельствует об отсутствии фазовых переходов в исследованном диапазоне температур. Коэффициент теплового расширения молибдата неодима определяли по тангенсу угла наклона прямой, полученной аппроксимацией экспериментальных данных, который составил 1,26 (3) · 10<sup>-5</sup> K<sup>-1</sup>.

## Список литературы

1. Tsai M. Oxide Ion Conductivity in Ln<sub>5</sub>Mo<sub>3</sub>O<sub>16+x</sub> (Ln = La, Pr, Nd, Sm, Gd; x ~ 0.5) with a Fluorite-Related Structure / M. Tsai, M. Greenblatt, W. McCarroll // Chem. Mater. – 1989. – V.1, № 2. – P. 253-259.

2. Biendicho J. J. The Fluorite-Like Phase  $\text{Nd}_5\text{Mo}_3\text{O}_{16\pm\delta}$  in the  $\text{MoO}_3$ - $\text{Nd}_2\text{O}_3$  System: Synthesis, Crystal Structure, and Conducting Properties / J. J. Biendicho, H. Y. Playford // Inorganic Chemistry. – 2018. – Vol. 57, № 12. – P. 7025-7035. – doi: 10.1021/acs.inorgchem.8b00734
3. Balagurov A. High-resolution neutron Fourier diffractometer at the IBR-2 pulsed reactor: a new concept / A. Balagurov, D. Balagurov, I. Bobrikov, A. Bogdzel, V. Drozdov, A. Kirilov, V. Kruglov, S. Kulikov, S. Murashkevich, V. Prikhodko, V. Shvetsov, V. Simkin, A. Sirotin, N. Zernin, V. Zhuravlev // Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B. – 2018. – V. 436. – P. 263-271. doi: 10.1016/j.nimb.2018.09.045
4. Faurie J.P. Étude des phases  $\text{MLn}_4\text{Mo}_3\text{O}_{16}$  et  $\text{M}'\text{Ln}_6\text{Mo}_4\text{O}_{22}$  ( $\text{M} = \text{Cd}$ ;  $\text{M}' = \text{Ca}, \text{Sr}$ ) de structure dérivé de la fluorine par magnétochimie, luminescence cristalline, spectroscopie infrarouge, et radiocristallographie. Hypothèse structurale pour la phase  $\text{CdTm}_4\text{Mo}_3\text{O}_{16}$  / J.P. Faurie, R.Kohlmuller // Rev. Chim. Miner. – 1971. – Vol. 8. – P. 241-276.

УДК 504.06

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАМА ОТРАБОТАННЫХ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

***Шампатей О.О., Сердюк А.И.***, д-р хим. наук, проф.

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
г. Макеевка, ДНР  
*mailbox@donnasa.ru*

Объемы образования и накопления свинцово-кислотных аккумуляторов (СКА) увеличиваются с ростом мирового автомобильного парка. Распространенные в мире пиromеталлургические методы утилизации СКА ввиду колоссального негативного воздействия на окружающую среду должны быть заменены более экологически чистыми способами. Возросший интерес к электрохимическим способам утилизации СКА объясняется их более высокой экологической чистотой и низкими энергозатратами.

Состав аккумуляторного лома варьирует в широких интервалах значений. По мнению авторов [1] содержание свинца в эbonитовых моноблоках составляет 50–60 %, в термопластовых – 55-63 %, в полиэтиленовых (полипропиленовых) – 62–67 %. В результате анализа данных исследований содержание свинца в виде металла составляет 25–30 %, сульфатная фракция ( $\text{PbSO}_4$ ) – 30–35 %, оксидная ( $\text{PbO}_2$ ,  $\text{PbO}$ ) – 30–35 %, и 25–40 % органических материалов, в которых концентрируются Cu и S. 70% массы шлама составляет свинец.

У электрохимического способа есть свои крупные недостатки, связанные с подготовкой сырья перед переработкой: требуется создать электролит, который будет выступать в роли среды; перевод активной массы, для

дальнейшего электролиза, в жидкую форму; интенсификация процесса растворения активной массы в электролите. Самый распространенный способ образования диоксида свинца – это обработка шлама перекисью водорода в серной кислоте.

Основной проблемой подготовки или активации активной массы является перевод в растворимую форму диоксида свинца. Существует несколько способов переработки диоксида свинца, описанных в работах [2, 3].

Для перевода диоксида свинца в растворимую форму (оксид свинца) применяли восстановитель – перекись водорода в кислой среде – аккумуляторном электролите. Процесс проводили в течение 1 часа. После обработки шлама раствором NaOH до щелочной реакции среды его промывают дистиллированной водой и сушат на воздухе в течение 2 часов. Затем подвергают электрохимической переработке.

Было изучено электрохимическое и химическое растворение соединений свинца на аноде в процессе электролиза. В исследовании использовала как неразрешенные пластины СКА, так и шлам в электролитической корзине глубиной 20 мм. Для этого мы взяли три одинаковые пластины. После высушивания до постоянной массы пластины были взвешены. Первую пластину поместили в электролит с температурой в 20°C и подачей тока в 0,2А, вторую в электролит с температурой в 40°C и подачей тока в 0,2А и третью без подачи тока и с температурой в 40°C. Состав электролита  $\text{HBF}_4$  – 180 г/л,  $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$  – 30 г/л,  $\text{HBO}_3$  – 30 г/л, сульфидно-спиртовая борда 1 г/л. По прохождению трёх часов, мы достали пластины, высушили их до постоянной массы и взвесили. Определено, что химическое растворение протекает со скоростью равной  $0,068 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ . Мы сравнили химическое растворение с электрохимическим при том же составе электролита, данные сведены в табл. 1.

Таблица 1  
Скорости химического и электрохимического растворения

Сила тока, А	Температура, °C	Скорость растворения, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$
0,2	20	0,37
0,2	40	0,5
0	40	0,068

Суммарное растворение составило в первом случае  $0,37 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$  и во втором  $0,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ , следовательно химическое растворение по отношению к электрохимическому составляет  $18,37\%$  ( $40^\circ\text{C}$ ) и  $13,6\%$  ( $20^\circ\text{C}$ ) для первой и соответственно второй пластины.

Было определено, что с увеличением скорости растворения анода вклад химического растворения будет уменьшаться при одинаковой температуре. При скорости растворения  $2 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$  вклад химического растворения составит  $3,5\%$ .

Также мы сравнили скорости растворения анода (пластины) и выделения свинца на катоде при различных условиях (табл. 2). При применении шлама в электролитической корзине в качестве анода скорость растворения возрастает на 17–20% по сравнению с пластиной. Это, по-видимому, объясняется большей площадью контакта шлама с электролитом по сравнению с платиной. Таким образом, проведение процесса перевода соединений свинца (диоксида и сульфата свинца) в растворимую в кислотах форму при pH 9–10 приводит к снижению концентрации свинца в промывочных водах по сравнению с нейтральной средой в десятки раз. Этот позволяет значительно ускорить процесс электрохимической переработки СКА как в виде пластин, так и виде шлама

Таблица 2  
Скорости электрохимического растворения и выделения свинца

Скорость растворения, кг/(м <sup>2</sup> ·час)	Скорость выделения, кг/(м <sup>2</sup> ·час)	Температура, °C	Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Выход по току, %
0,37	0,51	20	150	73
0,42	0,53	20	170	74
6,3	5,0	40	800	75
3,0	2,9	40	320	98
1,2	1,1	40	300	97
0,54	0,45	40	106	89

### Список литературы

- Хрусталев Д. А. Аккумуляторы. – М.: Изумруд, 2013. – 224 с.
- Морачевский А.Г. Актуальные проблемы утилизации лома свинцовых аккумуляторов // Ж. прикл. химии. – 2003. – Т. 76, № 9. – С. 1467–1476.
- Исаева-Парцвания Н.В. Повышение экологической безопасности при электрохимической переработке свинцово-кислотных аккумуляторов в кремнефтористых электролитах: дис... канд. техн. наук: 21.06.01 / Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 2006. – 217 с.
- Перегончая, О.В. Практикум по аналитической химии. Физико-химические методы анализа: учебное пособие / О.В. Перегончая, С.А. Соколова. – Воронеж : Воронежский Государственный Аграрный Университет им. Императора Петра Первого, 2017. – 100 с. – ISBN 2227-8397. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/72731.html> (дата обращения: 26.03.2021). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.
- Штриплинг, Л.О., Основы очистки сточных вод и переработки твердых отходов Учебное пособие / Л.О. Штриплинг, Ф.П. Туренко – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 192 с. – URL: [ekolog.org/books/23/2\\_6\\_3.htm](http://ekolog.org/books/23/2_6_3.htm)

# **Физическая химия**

УДК 544.629.423.33

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕДНЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОГО ПОРОШКА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОСКОЛЬЗЯЩИХ КОНТАКТОВ**

***Афанасьев В.В., Шавшина А.Н., Заговора Н.В.***

ГУ «Научно-исследовательский институт «Реактивэлектрон», г. Донецк, ДНР  
*reaktivelektron@mail.ru*

**Введение.** Производство композиционных материалов методом порошковой металлургии является одной из перспективных технологий металлургического и машиностроительного производства, одним из направлений которого, является изготовление электроскользящих контактов [1].

В настоящее время для токосъемников троллейбусов стали востребованными составные контактные вставки (КВ), состоящие из графита и электропроводящей части (ЭЧ). Благодаря выбранной конструкции снижается электрическое сопротивление при той же износстойкости, увеличивается электропроводность и срок службы КВ.

Значимую роль играет процесс изготовления электропроводящей части и ее состав. Большое практическое значение приобрело химическое меднение металлической основы – это сложный гетерогенный многостадийный процесс, относительно химизма и механизма которого нет единого мнения. Однако имеется одно общепризнанное положение, согласно которому этот гетерогенный процесс имеет автокатализический характер, причем роль катализатора выполняет сама металлическая медь, которая образуется на поверхности «подложки» [2].

Цель работы – изучить влияние омедненного железного порошка на физико-механические свойства электроскользящих контактов.

**Основная часть.** Одной из ответственных операций при подготовке порошковой смеси является получение путем смешивания компонентов смеси определенного химического и гранулометрического состава. Смешивание может производиться механическим или химическим методами. Химическое смешивание заключается в осаждении из раствора на поверхности частиц железа металлической меди. В отличии от механического, химический метод позволяет получить более равномерное распределение смеси: каждая частица основного компонента покрыта тонким слоем металла-добавки [3].

Для исследования процесса меднения был выбран раствор сульфата меди и железный порошок распыленный (ПЖР <40 мкм).

При приготовлении раствора для химического меднения играет роль выбор состава раствора и нахождение оптимальных концентраций заданных компонентов. Раствор сульфата меди был приготовлен в различных концентрациях, %: 5, 10, 15. Реакция меднения железного порошка идет по формуле (1):



В приготовленные растворы сульфата меди добавляют железный порошок и тщательно перемешивают. Время и скорость реакции осаждения и насыщение железного порошка медью зависит от концентрации раствора сульфата меди: чем больше концентрация, тем выше скорость реакции и насыщение.

После окончания реакции раствор фильтруют, а медненный порошок сушат в вакуум сушильном шкафу при заданных температуре и времени. Состав травильного раствора контролируют фотометрическим методом на фотометре КФК-2

На рис. 1–3 представлен микроструктурный анализ омедненного железного порошка с различным содержанием меди.

Из рисунков 1–3 следует, что равномерность нанесения меди на ПЖР зависит от концентрации растворов: чем выше концентрация, тем лучше нанесение.

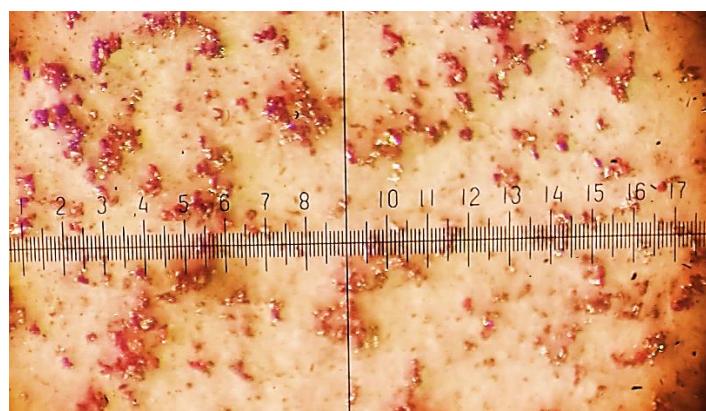


Рис. 1. Меднение железного порошка 5 %

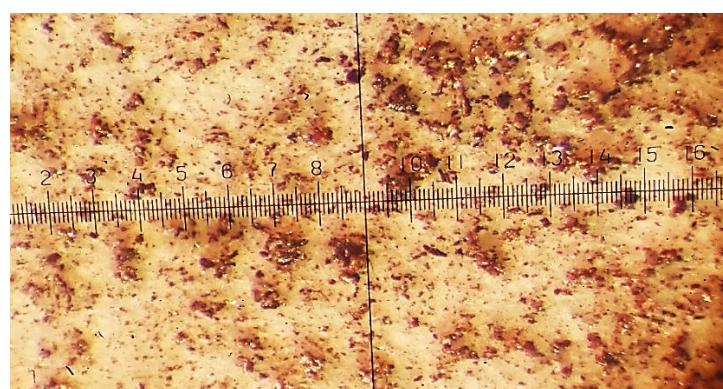


Рис. 2. Меднение железного порошка 10 %

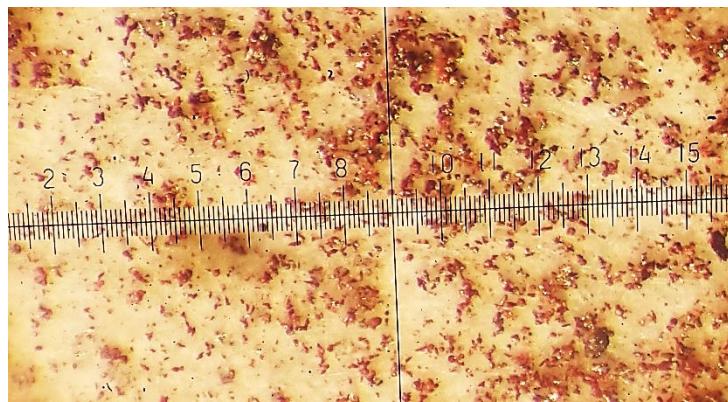


Рис. 3. Меднение железного порошка 15 %

После меднения порошок прессуют и спекают в вакууме. Следует отметить, что температура спекания уменьшается, за счет равномерного нанесения меди на железный порошок и тем самым облегчается технологический процесс.

Готовые образцы контролируют по следующим параметрам: электропроводность, износостойкость, механическая прочность, твердость.

Химический анализ порошков и готовых образцов выполняют согласно разработанных методик [4].

**Заключение.** Анализ данных результатов физико-механических, электрических, химических показателей готовых образцов показывают, что благодаря выбранному методу получения железо-медной шихты, снижается температура спекания, увеличивается механическая прочность и электропроводность изделий по сравнению с образцами, полученными методом смешения готовых порошков меди и железа.

#### Список литературы

1. Либерсон Г.А. Производство порошковых изделий: учебник для техникумов / Г.А. Либерсон. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. – 240 с.
2. Степановских Е.И. Кинетика химического меднения: Материалы для практической работы. – Екатеринбург, 2020.
3. Ермаков С.С. Порошковые стали и изделия / С.С. Ермаков, Н.Ф. Вязников. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1990. – 319 с.
4. Шемякин Ф.М. Аналитическая химия: учебник для фармацевтических вузов / Ф.М. Шемякин, А.Н. Карпов, А.Н. Брусенцов. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1973. – 559 с.

## ОКИСЛЕНИЕ ТИОФЕНА ПЕРОКСИКИСЛОТАМИ В СИСТЕМЕ *н*-ОКТАН–ВОДА

*Безбожная Т.В.*, канд. хим. наук, *Любимова А.К.*,

*Лобачев В.Л.*, д-р хим. наук, с.н.с.

ГУ “Институт физико-органической химии и углехимии  
имени Л. М. Литвиненко”, г. Донецк, ДНР

*b.t.v@i.ua*

Строгая регламентация содержания серы в углеводородном сырье и продуктах его переработки связана с проблемами экологии и с эксплуатационными свойствами нефтепродуктов, что делает актуальной задачу поиска экономически эффективных технологий снижения содержания общей серы в этих продуктах. Среди многочисленных методов решения этой задачи [1] особый интерес вызывает окислительное обессеривание в сочетании с последующей экстракцией образующихся в процессе окисления кислородсодержащих продуктов. Этот метод в отличие от гидроочистки [2] не требует больших количеств водорода, высоких температур и давления, отличается простотой аппаратурного оформления и позволяет использовать более дешевые реагенты, такие как кислород воздуха и пероксид водорода, который в присутствии таких активаторов  $H_2O_2$  как муравьиная, уксусная, трифторуксусная кислоты, соли кобальта, карбонат натрия, фосфорномолибденовая кислота и др. [1], образует активные в окислении сульфидов пероксиоединения. Основной задачей является окисление тиофена и его алкильных производных, скорость реакций которых с пероксидами значительно ниже, чем с другими органическими серосодержащими соединениями, например, бензотиофеном, дibenзотиофеном и их производными [2].

Целью настоящей работы являлся поиск окислительной системы, изучение влияния природы окислителя (смеси пероксида водорода с муравьиной кислотой, трифторуксусной кислотой или нитритом натрия) и условий окисления (времени, температуры реакции, концентрации окислителя, добавок цетил(триметил)аммонийбромида) на степень трансформации тиофена в модельной смеси *н*-октан–окислитель.

Среди карбоновых кислот RCOOH муравьиная и трифторуксусная кислоты наиболее часто используются как активаторы пероксида водорода в процессах окислительной десульфуризации. Реакции с их участием включают стадию образования из  $H_2O_2$  и RCOOH активной пероксикислоты, которая затем реагирует с серосодержащим соединением.

В таблице приведены полученные данные (ГЖХ-анализ) о степени превращения тиофена при 50 °C в системе *н*-октан –  $H_2O_2$  – RCOOH. Найдены условия (опыты № 4, 5, 7–9), в которых удалось полностью

окислить тиофен в течение 1.5–2 ч, при этом в системе с трифторуксусной кислотой этот эффект достигается при меньшей концентрации окислительной смеси по сравнению с муравьиной кислотой, что может быть объяснено более высокой кислотностью  $\text{CF}_3\text{COOH}$ . Уменьшение температуры реакции от 50 до 30 °C приводит к почти 5-кратному снижению эффективности окисления (ср. опыты № 9 и 11). В условиях опыта №10 константа скорости первого порядка равна  $(2.8 \pm 0.7) \times 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$ , в условиях опыта № 11 –  $(1.98 \pm 0.4) \times 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$ .

Таблица

Степень превращения ( $\eta$ ) тиофена в системе  
*n*-октан –  $\text{H}_2\text{O}_2$  –  $\text{RCOOH}$  при 50 °C

№ опыта	[тиофен]:[ $\text{H}_2\text{O}_2$ ]:[ $\text{RCOOH}$ ], моль	Время, ч	$\eta$ , %
Тиофен – $\text{H}_2\text{O}_2$ – $\text{HCOOH}$			
1	1 : 3.4 : 7.9	1	37
2	1 : 3.4 : 7.9	5	80
3	1 : 7 : 16.2	2	76
4	1 : 14 : 32.3	2	100
5	1 : 14 : 19	2	100
6	1 : 3.4 : 7.9	2	15 <sup>a</sup>
Тиофен – $\text{H}_2\text{O}_2$ – $\text{CF}_3\text{COOH}$			
7	1 : 14 : 18.6	2	100
8	1 : 7 : 9.3	2	100
9	1 : 3.5 : 4.7	1,5	100
10	1 : 1.8 : 2.4	2,5	34
11	1 : 3.5 : 4.7	2	18 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> в присутствие 0,02 г ЦТАБ; <sup>b</sup> 30 °C

В процессе окислительной десульфуризации возникает проблема, связанная с низкой растворимостью тиофена в полярной водной фазе (окислительной смеси). Для повышения растворимости тиофена в водной фазе в систему вводили цетил(триметил)аммонийбромид (ЦТАБ). Реакция в присутствии ЦТАБ сопровождается повышенным пенообразованием и снижением степени превращения тиофена. Можно предположить, что для реакций окисления, протекающих одновременно в воде и мицеллярной фазе, снижение скорости окисления тиофена образующейся пероксикислотой связано с тем, что плохо растворимый в воде тиофен частично связывается мицеллами, при этом его концентрация и, как следствие, скорость в водной фазе снижается. Пероксикислота в мицеллярную фазу практически не переходит, а вклад маршрута окисления тиофена в мицеллярной фазе намного меньше, чем в воде.

Ранее было показано, что нитрит-анионы являются эффективными активаторами пероксида водорода в реакциях окисления органических

сульфидов, а также тиофена [3]. Пероксиазотистую кислоту генерировали *in situ* в системе  $\text{H}_2\text{O}_2 - \text{HNO}_2$  при рН 4.08. Установлено, что в системе *n*-октан–тиофен– $\text{NaNO}_2$ – $\text{H}_2\text{O}_2$ –фосфатный буфер степень превращения тиофена за 2 ч составила 22 % (тиофен :  $\text{NaNO}_2$  :  $\text{H}_2\text{O}_2$  = 1:1:1.1), т. е. эффективность этой системы ниже, чем в случае с пероксимуравыиной или перокситрифтруксусной кислотой.

Таким образом, найдены окислительные системы на основе пероксида водорода и трифтруксусной или муравыиной кислоты, позволяющие окислить тиофен с высокой конверсией в двухфазной системе *n*-октан – водная фаза при 50 °С. Степень окисления тиофена зависит от природы окислителя, его концентрации и температуры реакции. Перокситрифтруксусная кислота обладает большей окислительной способностью, чем пероксимуравыиная кислота. Добавки ЦТАБ приводят к снижению скорости окисления тиофена.

### **Список литературы**

1. Анисимов А.В. Окислительное обессеривание углеводородного сырья / А.В. Анисимов, А.В. Тараканова // Российский химический журнал. – 2008. – Т. LII, №4. – С. 32-40.
2. Hussain F. Enhanced and Facile Acid Oxidation Desulfurization of Commercial Oil Using Air-Assisted Performic System / F.Hussain, W. Ahmad, I. Ahmad, Sheng Guo // Environmental Eng. Science. – 2019. – Vol. 36, № 11. – Р. 1404-1411.
3. Лобачев В.Л. Кинетика и механизм окисления тиофена пероксиазотистой кислотой в водных растворах и газовой фазе / В.Л. Лобачев, Л.М. Дятленко, Е.С. Рудаков // Укр. хим. журн. – 2013. – Т. 79, № 5. – С. 56-61.

УДК 678.048:547.565:544.421:544.43:544.18

## **СИНЕРГИЧЕСКОЕ АНТИРАДИКАЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ БИНАРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ МОНО- И ДИСАХАРИДОВ С КОФЕЙНОЙ КИСЛОТОЙ**

***Белая Н.И.*, канд. хим. наук, доц.,**

***Белый А.В.*, канд. хим. наук, доц., *Тихонова Г.А.***

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

*nbelaya@donnu.ru*

В практике торможения окислительных процессов в органических субстатах и материалах на их основе большое значение имеет явление синергизма – усиление действия антиоксиданта (АО) либо в сочетании с другим АО, либо с веществом-синергистом, которое не обладает антиоксидантными свойствами. В последние десятилетия особо

востребован и актуален так называемый «природный синергизм» в смесях растительных фенолов с сахарами, белками и фосфолипидами. В первую очередь это связано с низкой токсичностью таких смесей, их природным происхождением, а также с возможностью на примере композиций фенол–сахарид, фенол–аминокислота и т.д. моделировать механизм действия природных синергических смесей в составе растительного сырья.

Целью данной работы является исследование антирадикальной активности бинарных композиций моно- и дисахаридов с кофейной кислотой методом хемилюминесценции (ХЛ) в водных средах с разным pH.

В качестве объектов исследования использовались природный фенол – кофейная кислота в комбинации с моносахаридами – глюкозой, фруктозой и рамнозой и дисахаридами – мальтозой и лактозой.

Модельные пероксирадикалы генерировались в процессе термического распада гидрофильного азоинициатора 2,2'-азобис(2-амидинопропан) дигидрохлорида в оксигенированном фосфатном буфере при физиологическом pH среды и температуре  $323\pm2$  К.

Методом ХЛ в реакции с цианоизопропанпероксидами установлено, что в смеси кофейной кислоты с моно- и дисахаридами максимальный синергический антирадикальный эффект (SE), равный 100 %, проявила смесь кофейной кислоты с лактозой в соотношении 50:50 в кислой среде с pH = 2 при T =  $323\pm2$  К (табл.).

Причиной синергизма является образование водородного комплекса углевода с кофейной кислотой в качестве донора водорода.

Величина SE возрастает для смесей кофейной кислоты с дисахаридами за счет увеличения числа акцепторных центров (Acceptor sites) в молекулах дисахаридов по сравнению с моносахаридами, участвующих в образовании донорных H-комплексов с высокими восстанавливающими свойствами. Количество Acceptor sites рассчитывалось методом QSPR (Quantitative Structure-Property Relationship) в программном пакете Marvin 18.14.

Таблица

Величина максимального синергического эффекта ( $SE_{max}$ , %) композиций кофейной кислоты с моно- и дисахаридами в реакции с АРОО<sup>•</sup> в фосфатном буфере при pH = 7,35 и T =  $323\pm2$  К

Состав бинарной композиции	$SE_{max}$ , %
<i>Моносахариды</i>	
Кофейная кислота : глюкоза (40:60)	57
Кофейная кислота : фруктоза (50:50)	38
Кофейная кислота : рамноза (60:40)	20
<i>Дисахариды</i>	
Кофейная кислота : мальтоза (20:80)	83
Кофейная кислота : лактоза (50:50)	101

Для большинства моно- и дисахаридов наблюдается общая закономерность – максимальный синергический эффект проявляется в смеси, когда концентрация фенола не превышает концентрации сахара. При таком соотношении образуются в основном комплексы донорного типа. С увеличением количества кофейной кислоты начинают образовываться, по-видимому, акцепторные или смешанные Н-комплексы с меньшей активностью по отношению к свободным радикалам.

С ростом pH среды SE снижается, так как кофейная кислота с ростом pH среды диссоциирует с образованием фенолят-ионов, а значит, возможность образования донорного Н-комплекса с сахаридом снижается, поскольку в ионизированной форме фенола возрастает не протонодонорная, а протоноакцепторная способность к образованию Н-связи. Наибольший SE, равный 150 %, проявила смесь кофейной кислоты с дисахаридом – лактозой в соотношении 50:50 в кислой среде с pH = 2.

Полученные сведения о синергической активности композиций кофейной кислоты с моно- и дисахаридами позволяют проводить целенаправленный поиск подобных систем в составе растительного сырья.

УДК 620.193

## **ЗАЩИТА МАКРОГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ПАРЫ МЕДЬ/ЛАТУНЬ ОТ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ ЛЕТУЧИМ ИНГИБИТОРОМ КОРРОЗИИ ИФХАН-116**

*Дорохов А.В.<sup>1</sup>, канд. хим. наук,  
Брыксина В.А.<sup>2</sup>, Курьято Н.А.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, РФ

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», г. Тамбов, РФ

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, РФ  
*cska-sparta@yandex.ru*

**Введение.** Металлоконструкции, используемые на открытом пространстве, подвергаются атмосферной коррозии, что приводит к самопроизвольному разрушению металла, что в свою очередь приводит к значительным экономическим потерям. В ходе исследования, при поддержке NACE International, было установлено, что в 2013 году в США убытки от коррозии составили 2,5 триллионов долларов США, что эквивалентно 3,4 % мирового валового внутреннего продукта (ВВП) [1]. Атмосферная коррозия представляет собой сложный процесс, зависящий от множества факторов окружающей среды, например, относительная

влажность, температура, загрязняющие вещества, твердые частицы и т.д. Достаточно затруднительно проанализировать влияние лишь одного фактора, поскольку они взаимодействуют комплексно.

**Основная часть.** Атмосферная коррозия протекает под тонкими пленками влаги, которые образуется из адсорбированных поверхностью металла паров воды, находящихся в атмосфере [2]. Далее в образовавшейся пленке начинают растворяться атмосферные газы, чаще всего имеющие кислотный характер, но бывают случаи растворения носителей основных свойств. Наличие растворенного кислорода и низких водородных показателей среды, создают вероятность одновременного протекания катодных процессов с водородной и кислородной деполяризацией. И для того, чтобы оценить степень опасности атмосферной коррозии, в первую очередь нужно учитывать степень и длительность увлажнения поверхности металла. В результате действия внешних факторов на металл происходит образование некоторых оксидов, которые участвуют в разложении металлов, что с течением времени приводит к коррозионным разрушениям.

Целью данной работы является изучение защитного действия летучего ингибитора коррозии (ЛИК) ИФХАН-116 по отношению к макрогальванической паре медь М2/латунь Л62 в атмосфере, содержащей один и несколько стимуляторов коррозии ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ) при 100 %-ной относительной влажности.

**Методика эксперимента.** Коррозионные испытания проводили в замкнутом пространстве в герметичных эксикаторах при 20 °C в условиях 100 % влажности воздуха ( $\psi_0 = 100 \%$ ), при действии сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ) концентрацией 10 мг/м<sup>3</sup>, диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) концентрацией 0,2 об. %, аммиака ( $\text{NH}_3$ ) концентрацией 20 мг/м<sup>3</sup>. Образцы макропары медь/латунь шлифовали, обезжиривали ацетоном и взвешивали на аналитических весах с точностью до  $1 \cdot 10^{-4}$  г [5].

После проведения испытаний в течение 240 ч, образцы травили в 10%-ном растворе соляной кислоты, содержащий 3 г/л уротропина и 1 г/л КИ для удаления продуктов коррозии, промывали дистиллированной водой, сушили и взвешивали. Потерю массы оценивали на аналитических весах.

Рассчитав потерю массы макропары, рассчитывали скорость коррозии ( $K$ ) по формуле:

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau},$$

где  $\Delta m$  - потеря массы макропары, г;  $S$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – длительность испытаний, часы.

Защитное действие определяли по формуле:

$$Z = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \cdot 100 \%,$$

где  $K_0$ ,  $K_1$  – эффективные скорости общей коррозии пары в неингибиированной и ингибиравной средах без разделения на составляющие моделей макропар.

*Результаты и обсуждения.* В табл. 1 приведены данные, рассчитанные по 3-м параллельным опытам при десятисуточной экспозиции, по защитной эффективности ингибитора ИФХАН-116 в среде со 100 % влажностью в присутствии одного из стимуляторов коррозии.

Таблица 1

Защитная эффективность ИФХАН-116 при коррозии макропары в среде со 100%-ой влажностью в присутствии стимуляторов коррозии ( $\tau = 10$  суток)

Среда	$K, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	$Z, (\%)$
$\text{NH}_3$	0,0544	-
$\text{H}_2\text{S}$	0,0023	-
$\text{CO}_2$	0,0060	-
$\text{H}_2\text{S} + \text{NH}_3$	0,0044	-
$\text{NH}_3 + \text{ингибитор}$	0,0109	80
$\text{H}_2\text{S} + \text{ингибитор}$	0,0108	Стимулирование
$\text{CO}_2 + \text{ингибитор}$	0,0021	65
$\text{H}_2\text{S} + \text{NH}_3 + \text{ингибитор}$	0,0105	Стимулирование

Как видно из приведенных данных, ИФХАН-116 проявляет защитный эффект лишь в присутствии  $\text{NH}_3$  или  $\text{CO}_2$ , причем в первом случае более высокий. В присутствии  $\text{H}_2\text{S}$  ингибитор оказывает стимулирующее действие. При одновременном присутствии  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{NH}_3$  также наблюдается стимулирующее действие ингибитора.

Внешний вид образцов после гравиметрических испытаний в присутствии ЛИК представлены на рис. 1.



Рис. 1. Фотографии образцов после 240ч экспозиции в атмосфере, содержащей:  
а) 0,2 об. %  $\text{CO}_2$ ; б)  $\text{CH}_{2\text{S}} = 10 \text{ мг}/\text{м}^3$  в присутствии ЛИК ИФХАН-116 при 100%-ой относительной влажности воздуха

**Заключение.** Ингибитор ИФХАН-116 проявляет защитное действие по отношению к макропаре лишь в присутствии  $\text{NH}_3$  (80%) и  $\text{CO}_2$  (65%). Значительный вклад на стимулирование процессов коррозии оказывает присутствие в атмосфере  $\text{H}_2\text{S}$ .

## **Список литературы**

1. Koch G. International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study // NACE International. – 2016. – P. 216.
2. Бахвалов Г.Т. Защита металлов от коррозии. – М.: Металлургия, 1964. – 290 с.
3. Trinidad P. Corrosion of metals and its control / P. Trinidad, D. Barker, F. Walsh // Afinidad. – 1996. – Vol. 53. – P. 311-320.
4. Mansfeld E. Atmospheric Corrosion // The Electrochemical Society Interface. – 1991. – P. 24-30.
5. Вигдорович В.И. Коррозия и защита металлов летучими ингибиторами в условиях животноводческих помещений: монография / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Л.Г. Князева и др. – Тамбов. Издательство Першина Р.В., 2019. – 185 с.

УДК 620.193

## **ЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕТУЧЕГО ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ ИФХАН-116 ПО ОТНОШЕНИЮ К МАКРОГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ПАРЕ СТАЛЬ/ЛАТУНЬ ОТ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ**

**Дорохов А.В.<sup>1</sup>, канд. хим. наук, Жерновников Д.Н.<sup>1</sup>,**  
**Курьято Н.А.<sup>1,3</sup>, Брыксина В.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, РФ

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», г. Тамбов, РФ

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, РФ  
*cska-sparta@yandex.ru*

**Введение.** Так как металлы используются на открытом пространстве, они подвергаются атмосферной коррозии, что приводит к самопроизвольному разрушению металла. Широко известно, что атмосферная коррозия металлов зависит от факторов окружающей среды, таких как влажность, температура, относительное время увлажнения (TOW), толщина слоя электролита и загрязнение воздуха. Следствием этого является проблема защиты металлов и сплавов. Решить эту проблему можно путем использования материалов, коррозионно-устойчивых в данных условиях. Также возможно применение различных ингибиторов коррозии. Например, летучие ингибиторы коррозии (ЛИК). Они наиболее эффективны в условиях хотя бы частичной герметичности вокруг защищаемого объекта, они показывают высокую защитную эффективность.

**Основная часть.** Атмосферная коррозия является наиболее распространённым видом коррозии. Её можно определить, как разрушение

металлов и сплавов в газовой среде (в том числе и естественной воздушной). Она может возникать как под толстыми (фазовыми) плёнками влаги, так и под тонкими (адсорбционными) [1].

*Методика эксперимента.* Коррозионные испытания проводили в замкнутом пространстве в герметичных эксикаторах при 20 °C в условиях 100 % влажности воздуха ( $\psi_0 = 100\%$ ), при действии сероводорода ( $H_2S$ ) концентрацией 10 мг/м<sup>3</sup>, диоксида углерода ( $CO_2$ ) концентрацией 0,2 об. %, аммиака ( $NH_3$ ) концентрацией 20 мг/м<sup>3</sup>. Образцы макропары меди/латунь шлифовали, обезжиривали ацетоном и взвешивали на аналитических весах с точностью до  $1 \cdot 10^{-4}$  г [2].

После проведения испытаний в течение 240 ч, образцы травили в 10 %-ном растворе соляной кислоты, содержащий 3 г/л уротропина и 1 г/л KI для удаления продуктов коррозии, промывали дистиллированной водой, сушили и взвешивали. Потерю массы оценивали на аналитических весах.

Рассчитав потерю массы макропары, рассчитывали скорость коррозии ( $K$ ) по формуле:

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau},$$

где  $\Delta m$  - потеря массы макропары, г;  $S$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – длительность испытаний, часы.

Зашитное действие определяли по формуле:

$$Z = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \cdot 100\%,$$

где  $K_0$ ,  $K_1$  – эффективные скорости общей коррозии пары в неингибиированной и ингибираванной средах без разделения на составляющие моделей макропар.

*Результаты и обсуждения.* В табл. 1 приведены результаты гравиметрических испытаний трёх параллельных опытов при десятисуточной экспозиции макропары сталь Ст3/латунь Л62, по защитной эффективности ингибитора ИФХАН-116 в среде со 100 % влажностью в присутствии одного из стимуляторов коррозии.

Таблица 1

Зашитная эффективность ИФХАН-116 при коррозии макропары в среде со 100%-ой влажностью в присутствии стимуляторов коррозии ( $\tau = 10$  суток)

Среда	$K, g/(m^2 \cdot \text{ч})$	$Z, (\%)$
$NH_3$	0,0094	–
$H_2S$	0,0197	–
$CO_2$	0,0078	–
$CO_2 + NH_3$	0,0024	–
$NH_3 + \text{ингибитор}$	0,0067	29
$H_2S + \text{ингибитор}$	0,0056	72
$CO_2 + \text{ингибитор}$	0,0229	Стимулирование
$CO_2 + NH_3 + \text{ингибитор}$	0,0093	Стимулирование

Из приведенных данных видно, что защитное действие ЛИК ИФХАН-116 составляет 72 % при наличии лишь одного стимулятора коррозии  $H_2S$ , на поверхности латуни заметны продукты коррозии черного цвета (рис. 1, б), стальное кольцо морфологических изменений не претерпело. В присутствии  $NH_3$  защитная эффективность существенно ниже (29 %), а в атмосфере с  $CO_2$  процесс коррозии стимулируется в присутствии ингибитора. Внешний вид образцов макропары после опытов в среде, содержащей  $CO_2$ , представлен на рис. 1, а, на стальном кольце наблюдается язвы, на латуни – питтинг. При одновременном присутствии  $CO_2$  и  $NH_3$  наблюдается стимулирующее действие ингибитора (табл. 1).



Рис. 1. Фотографии образцов после 240ч экспозиции в атмосфере, содержащей: а) 0,2 об. %  $CO_2$ ; б)  $CH_2S = 30 \text{ mg/m}^3$  в присутствии ЛИК ИФХАН-116 при 100%-ой относительной влажности воздуха.

**Заключение.** Защитный эффект ингибитора по отношению к макропаре лишь в присутствии  $H_2S$  в нормативно допустимом количестве равен 72 %, в присутствии аммиака – почти в 3 раза ниже, а в присутствии  $CO_2$  и при наличии нескольких стимуляторов коррозии в атмосфере со 100%-ой влажностью наблюдается стимулирование процесса коррозии в его присутствии.

#### Список литературы

1. Вигдорович В.И. Особенности атмосферной коррозии металлов / В.И. Вигдорович, Н.В. Шель, А.Г. Крылова // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2001. – С. 1.
2. Вигдорович В.И. Коррозия и защита металлов летучими ингибиторами в условиях животноводческих помещений: монография / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, Л.Г. Князева и др. – Тамбов. Издательство Першина Р.В., 2019. – 185 с.

## ОЧИСТКА ВОД ЛИКВИДИРОВАННЫХ ШАХТ ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА АКТИВИРОВАННЫМ АНТРАЦИТОМ

*Кравченко В.В., Алемасова Н.В.*, канд. хим. наук,

*Зозуля М.А., Савоськин М.В.*, канд. хим. наук, с.н.с.

ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко»,

г. Донецк, ДНР

*alemasova.nv@gmail.com*

В связи с закрытием большого количества шахт в Донецком регионе стоит острая проблема очистки огромного количества шахтных вод, откачиваемых водоотливными комплексами. Решение этой проблемы позволит предотвратить поступление загрязненных тяжелыми металлами вод в грунтовые и поверхностные, а также обеспечить Донецкий регион водой питьевого или технического назначения, что стало особенно актуально в последние годы. Если для технического водоснабжения предприятий откачиваемая вода и может быть пригодна, то для питьевого водоснабжения необходима глубокая очистка. Для откачки шахтной воды водоотливные комплексы используют погружные насосы и в такой воде ПДК железа и марганца часто превышены. Связано это с происходящими в подземных водных горизонтах после закрытия шахт геохимическими процессами.

Для очистки сточных вод от неорганических и органических загрязнителей применяют разные методы: механические, химические, физико-химические (коагуляционные, сорбционные, флотационные, ионообменные, экстракционные, мембранные и биохимические) [1].

Сорбционная очистка вод характеризуется высокой эффективностью очистки от небольших концентраций загрязнений, позволяет удалять одновременно несколько загрязнителей, при этом для использования предлагается большое разнообразие сорбентов природного и синтетического происхождения. Эффективным сорбентом для удаления как неорганических, так и органических поллютантов, является активированный уголь. Он отличается большой удельной поверхностью, хорошо развитой пористостью, возможностью модификации различными поверхностными функциональными группами, высокой механической прочностью, химической и термической устойчивостью [2, 3]. В настоящее время для очистки воды используют активированные угли на основе древесины берёзы (БАУ), скорлупы кокосового ореха, каменноугольного сырья (АГ-3, АБД, ДАУ и др.), которые получают высокотемпературной обработкой водяным паром [3].

Целью работы являлось изучение сорбционной способности активированных антрацитов по отношению к ионам железа и марганца, содержащимся в шахтных водах Донецкого региона.

Эффективность активированных антрацитов как сорбентов проводили для вод, откачиваемых водоотливным комплексом ликвидированной шахты «Миусская» (г. Снежное), объем которых составляет 600–1100 м<sup>3</sup>/час.

Определение элементного состава воды до и после очистки проводили методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС, спектрометр IRIS Intrepid II XSP Duo), а также гравиметрическим, потенциометрическим и титrimетрическими методами. Среднегодовые значения определяемых показателей воды до очистки составляли в мг/дм<sup>3</sup>: сера (в пересчете на сульфаты) – 415; хлориды – 85; магний – 39,2; кальций – 51,5; калий – 4,5; натрий – 599; железо (общее) – 1,1; алюминий – 0,07; медь – менее 0,001; марганец – 0,30; свинец – менее 0,001; хром – менее 0,005; цинк – 0,02. Общая минерализация воды в среднем составляла 2100 мг/дм<sup>3</sup>, щелочность общая – 19,8 ммоль/дм<sup>3</sup>; значение pH – 7,6. В исследуемой воде содержание ионов марганца, натрия, сульфатов и общего железа превышает значения ПДК для питьевой воды [4], т.е. в исходном виде вода не может быть использована для централизованного водоснабжения региона.

Сорбционную очистку воды проводили с помощью активированных антрацитов. Получали сорбенты путем парогазовой активации антрацитов шахт ГП Торезантрацит «Шахтерская-Глубокая» (г. Шахтерск) и «Прогресс» (г. Торез). Лабораторная установка, процедура активации и изучение некоторых сорбционных характеристик были описаны нами ранее [5]. В табл. 1 представлены характеристики используемых в представленной работе активированных антрацитов. Для сравнения приведены характеристики коммерчески доступного активированного угля БАУ-А.

Таблица 1  
Характеристики активированных углей

Активированный уголь	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Зольность, %	Йодное число, мг/г	$S_{уд}(\text{БЭТ})$ , м <sup>2</sup> /г	Адсорбционная активность	
					по МГ*, мг/г	по бензолу**, г/г
Из антрацита шахты «Шахтерская-Глубокая» (фракция 0,63-1 мм)	0,32	7,8	600	454	87	0,28
Из антрацита шахты «Прогресс» (фракция 0,63-1 мм)	0,38	8,6	417	–	80	0,25
БАУ-А (производство «БиоИнженерия», Россия)	0,21	5,4	594	357	34	0,28

\* - МГ – метиленовый голубой; \*\* - по отношению к парам бензола.

Получаемый нами активированный уголь из антрацита обладает развитой системой пор и не уступает выпускаемому промышленностью сорбенту БАУ-А по своим свойствам.

Сорбционную очистку шахтной воды проводили в динамических условиях, средняя скорость фильтрации воды через сорбент составляла 3 мл/мин. После пропускания воды через активированный антрацит уменьшалась концентрация кальция, магния, цинка и марганца. Одновременно повышалось значение pH от 7,4 до 9,2, увеличивалось в 1,5 раза содержание железа, в 2,8 раз кремния. Содержание других определяемых элементов не изменялось.

Для очистки активированного антрацита от неорганических примесей его кипятили в течение 1 часа в 0,1 М растворе азотной кислоты, затем многократно промывали дистиллированной водой и высушивали при 130°C. Такая обработка активированного антрацита не приводила к существенному изменению pH очищаемой воды (pH составил 7,7). При этом в воде после прохождения через слой активированного антрацита отмечали существенное снижение концентраций железа, марганца, кальция, магния и цинка (данные табл. 2).

Таблица 2  
Остаточные концентрации элементов (мг/дм<sup>3</sup>) в воде ш. «Миусская» после очистки активированными антрацитами

Активированный уголь	Fe	Mn	Ca	Mg	Zn
Из антрацита ш. «Шахтерская-Глубокая»	0,15	менее 0,005	8,4	15,3	менее 0,001
Из антрацита ш. «Прогресс»	0,10	0,01	4,8	8,8	0,006
ПДК для питьевой воды [4]	0,20	0,05	—	—	1,0

Таким образом, активированные водяным паром антрациты позволяют эффективно очищать воды ликвидированных шахт от железа и марганца до значений, не превышающих ПДК для питьевой воды.

### Список литературы

1. Карманов А.П. Технология очистки сточных вод: Учебное пособие / А.П. Карманов, И.Н. Полина. – М.: Инфра-Инженерия, 2018. – 212 с.
2. Кинле Х. Активные угли и их промышленное применение / Х. Кинле, Э. Бадер – Л.: Химия, 1984. – 216 с.
3. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. Ч. 1 – С.-Пб.: АНО НПО «Мир и Семья», АНО НПО «Профессионал», 2002. – 988 с.
4. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: Федеральный центр гостанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 103 с.
5. Кравченко В.В. Получение активированного антрацита методом парогазовой активации в плотном слое / В.В. Кравченко [и др.] // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2021. – № 1 – С. 70-77.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУЧЕННОГО ДЕЙСТВИЕМ «ПРОСТЕЙШИХ» МЕТОДИК ПОСТОБРАБОТКИ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

**Леньшин А.С.**, д-р физ.-мат. наук, **Черноусова О.В.**, канд. хим. наук,  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,  
г. Воронеж, РФ  
*byolval@mail.ru*

**Введение.** Сложный состав поверхности пористого кремния (por-Si), в котором могут присутствовать кристаллический и аморфный кремний, диоксид и субоксиды кремния, а также адсорбированные водородные и гидроксильные группы, является и преимуществом этого материала и одновременно его недостатком. С одной стороны, широкий набор возможной морфологии, состава и характеристик открывает большие возможности для использования por-Si для множества прикладных задач, с другой создает проблемы в выборе подходящей методики под конкретное практическое применение и накладывает ограничение на условия хранения и последующие технологические операции с данным материалом [1,2].

Сейчас активно ведутся работы в области создания материалов для точечной доставки лекарств, где наночастицы por-Si пытаются вводить в живые органы и отдельные клетки [3-5]. На поверхность частиц можно прививать молекулы-биомаркеры и лекарственные вещества. Но, высокая поверхностная активность por-Si, которая позволяет присоединять определенные молекулы-активаторы к его поверхности, в то же самое время обуславливает и нестабильность поверхностных свойств данного материала.

Поэтому важной задачей в работе с por-Si и нанопорошками на его основе была и остается управляемая стабилизация и дальнейшая функционализация его поверхностных свойств. Для этого были предложены такие методы, как термический отжиг por-Si в кислородной среде, карбидизация, обработка с использованием определенных кислот.

**Основная часть.** Образцы por-Si получены электрохимическим травлением монокристаллического кремния марки КЭФ (100) с удельным сопротивлением 0,2 Ом\*см. В качестве электролита использовался раствор на основе HF с добавлением изопропанола и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в соотношении 2:2:1. Стандартная постобработка образцов для удаления продуктов реакции и частичной пассивации поверхности, – вымачивание по 5 минут в дист. воде и изопропаноле. Для дополнительного окисления поверхности в соответствии с реакцией Si + 2H<sub>2</sub>O →SiO<sub>2</sub>+ 2H<sub>2</sub>↑ были использованы дополнительные обработки вымачиванием в дист. воде и в 30 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, а

чтобы уменьшить долю поверхностных оксидов, в соответствии с реакцией  $\text{SiO}_2 + 6\text{HF} \rightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$ , было выбрано химическое подтравливание в спиртовом растворе HF 1:5.

Для исследования влияния постобработок на состав пористого кремния были использованы методики ИК, фотолюминесцентной (ФЛ) спектроскопии и ультрамягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии. Состав химических связей пористого слоя анализировали с помощью ИК Фурье-спектрометра Vertex 70 (Bruker) с использованием приставки для спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения. С помощью рентгеновского спектрометра-монохроматора РСМ-500 методом ультрамягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии (USXES, УМРЭС) был исследован фазовый состав в приповерхностной области образцов (при глубине анализа 60 нм). Спектры люминесценции регистрировались волоконно-оптическим спектрометром USB4000-VIS-NIR (Ocean Optics), сопряженным с компьютером. В качестве источника возбуждения люминесценции использовался лазерный диод, излучающий на длине волны 405 нм. По данным РЭМ исследуемые постобработки не привели к заметным изменениям в морфологии образцов.

ИК-спектры пропускания образцов пористого кремния были сняты через 3 и 45 дней после получения и постобработки образцов (функционализации). После 3х дней выдержки на атмосфере на спектре «стандартного» образца, наблюдаются характерные для пористого кремния полосы, соответствующие связям Si–Si и Si–H ( $616$  и  $634\text{ см}^{-1}$ ), полоса  $750$ – $1000\text{ см}^{-1}$ , соответствующая различным видам Si–H и  $\text{O}_x\text{Si}_y$  связей, оксидный составной пик Si–O–Si ( $1060$ – $1250\text{ см}^{-1}$ ) и полоса  $2150$ – $2250\text{ см}^{-1}$ , соответствующая различным видам колебаний связей адсорбированных водородных и кислородсодержащих групп ( $2084\text{ см}^{-1}$  Si–H вал. прод.,  $2110\text{ см}^{-1}$  Si–H<sub>2</sub> вал. прод.,  $2200\text{ см}^{-1}$  SiH–SiO<sub>2</sub> струк.,  $2245\text{ см}^{-1}$  O<sub>3</sub>SiH вал.).

Постобработка образцов в воде и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> приводит к дополнительному окислению образцов по сравнению со стандартной методикой, что наблюдается как рост интенсивности полосы поглощения связей Si–O–Si по сравнению с полосой, соответствующей связям Si–Si. Кроме того, постобработка в воде и в H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ожидаемо приводит к уменьшению на поверхности пор доли связей Si–H<sub>x</sub> и соответствующему росту кислородсодержащих связей O<sub>x</sub>SiH<sub>y</sub>. При этом, обработка в H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> приводит к более сильному окислению пористого слоя. Постобработка в растворе HF напротив, уменьшила количество оксида на поверхности, при этом выросла интенсивность у полос различных видов связей Si–H.

Результаты, полученные методом USXES, хорошо согласуются с данными ИК-спектроскопии. Согласно данным ФЛ использованные постобработки приводят к уменьшению интенсивности полосы фотолюминесценции исходных образцов пористого кремния при

сохранении её положения и ширины. При этом, опять же, исходя из общепринятых представлений о фазовом составе por-Si и квантово-размерной модели его ФЛ, также можно сделать вывод о том, что использованные методики не влияют на средний размер нанокристаллов кремния, «ядра», отвечающего за ширину и положение пика ФЛ, но оказывают существенное влияние на «оболочку», состоящую из аморфных и оксидных фаз. При этом увеличение вклада «оболочки» как в виде фазы аморфного (гидрированного) кремния, так и в виде субоксидов и диоксида кремния в фазовой состав исследуемых кремниевых наноструктур приводит к заметному снижению интенсивности его ФЛ. Таким образом, можно сделать вывод, что для улучшения ФЛ свойств por-Si в видимом диапазоне нужно стремиться формировать наноструктуры, состоящие преимущественно из (nano)кристаллического ядра с тонкой оболочкой совершенного оксида.

**Заключение.** Исходя из поставленной задачи, которая заключалась в том, чтобы постобработкой поверхности дополнительно окислить, либо наоборот, удалить часть оксида с пористого слоя, анализ данных USXES показывает следующее: вымачивание образцов в дист. воде и в  $H_2O_2$  приводит к изменению соотношения окисленных ( $SiO_x + SiO_2$ ) и неокисленных фаз ( $c-Si + a-Si:H$ ) в пористом слое с ~ 30% : 70 % до 50% : 50%, при этом обработка в  $H_2O_2$  приводит к формированию на поверхности кремниевых столбов фазы оксида кремния с большей степенью окисления ( $SiO_2$ ). Обработка поверхности por-Si в HF, напротив, уменьшает вклад оксидов в состав пористого слоя до ~ 20:80, за счет растворения, в первую очередь, дефектного оксида кремния с образованием  $a-Si:H$ .

### Список литературы

1. Lenshin A.S. Investigations of the composition of macro-, micro- and nanoporous silicon surface by ultrasoft X-ray spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy/ A.S. Lenshin, V.M. Kashkarov, E.P. Domashevskaya, A.N. Bel'tyukov, F.Z. Gil'mutdinov // Applied Surface Science. – 2015, – Vol. 359. – P. 550-559.
2. Canham L. Handbook of Porous Silicon / L. Canham. – Basel, Switzerland : Springer, 2014. – 987 p.
3. Ji-Ho Park. Biodegradable luminescent porous silicon nanoparticles for in vivo applications / Ji-Ho Park, Luo Gu, Geoffrey von Maltzahn, Erkki Ruoslahti, Sangeeta N. Bhatia and Michael J. Sailor // Nature materials letters. – 2009. – P.1-6. – DOI: 10.1038/NMAT2398.
4. Gang Wang. Fluorescent Si nanoparticle-based electrode for sensing biomedical substances / Gang Wang, Siu-Tung Yau, Kevin Mantey, Munir H. Nayfeh // Optics Communications.– 2008. – Vol. 281. – P. 1765-1770.
5. Polkovnikova Yu. A. Nanoparticles with neurotropic medications on the basis of porous silicon / Yu. A. Polkovnikova, A. S. Lenshin, P. V. Seredin, D. A. Minakov // Inorganic materials. – Vol. 53, № 5. – P. 477-483.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ ГАЗОВ

*Лихачев Е.Р.*, канд. физ.-мат. наук, доц., *Засимский Д.А.*  
 ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского  
 и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ  
*lih73@mail.ru*

**Введение.** Формулы, используемые при моделировании температурной зависимости вязкости газов, можно разделить на две группы – эмпирические формулы и уравнения, выведенные на основе кинетической теории газов. Эмпирические формулы более простые, поэтому при сопоставимой точности их использование предпочтительнее. Среди эмпирических формул можно выделить [1] формулу Сазерленда

$$\eta = \frac{k_1 T^{1,5}}{T + S}, \quad (1)$$

и формулу Фроста

$$\eta = k_2 T^m, \quad (2)$$

где  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $S$  и  $m$  постоянные параметры. Считается, что эти формулы удовлетворительно описывает температурную зависимость вязкости газов [1].

**Основная часть.** В настоящей работе проведены исследования степени согласия формул (1) и (2) с экспериментальными данными для различных газов. Экспериментальные данные взяты из следующих справочников: для инертных газов [2], для воды [3], для остальных газов [4, 5]. Значения параметров  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $S$  и  $m$  были рассчитаны с помощью метода наименьших квадратов из условия наилучшего совпадения экспериментальных значений вязкости со значениями, вычисленными по формулам (1) и (2). Полученные значения параметров приведены в табл. 1. В табл. 1 также приведены средние относительные ошибки вычисления вязкости по формулам (1) и (2), соответственно  $\delta_{\text{Саз}}$  и  $\delta_{\text{Фр}}$ .

Таблица 1  
Значения постоянных параметров при давлении 1 бар

Газ	$S$ , К	$k_1$ , $10^{-6}$ Па·с·К $^{-0,5}$	$k_2$ , $10^{-7}$ Па·с·К $^{-m}$	$m$	$\delta_{\text{Саз}},$ %	$\delta_{\text{Фр}},$ %
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7
H <sub>2</sub>	33	0,61	1,40	0,721	4,80	3,75
D <sub>2</sub>	43	0,84	2,24	0,707	1,79	1,13
He	53	1,50	4,54	0,665	6,48	0,70
Ne	45	2,20	5,60	0,702	4,62	4,14
Ar	167	2,06	2,77	0,769	1,50	3,42
Kr	193	2,47	2,84	0,788	1,44	3,38
Xe	258	2,55	2,12	0,828	1,25	2,26

Продолжение табл. 1

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7
N <sub>2</sub>	106	1,40	3,09	0,704	0,37	5,27
NH <sub>3</sub>	394	1,38	0,37	0,989	0,64	0,41
O <sub>2</sub>	125	1,70	3,07	0,730	0,46	4,75
CO	107	1,38	2,62	0,728	0,45	5,37
CO <sub>2</sub>	230	1,53	2,48	0,728	0,39	3,75
H <sub>2</sub> O	1154	2,56	0,173	1,113	0,16	0,78
SO <sub>2</sub>	370	1,65	1,15	0,839	0,55	2,25
Hg	736	5,36	0,94	1,007	0,48	0,13
F <sub>2</sub>	149	2,06	2,48	0,795	0,80	3,32
Cl <sub>2</sub>	305	1,59	1,01	0,865	0,17	1,04
Br <sub>2</sub>	420	2,09	0,69	0,949	1,23	0,13
N <sub>2</sub> O	248	1,58	1,95	0,768	0,15	4,20
NO	134	1,61	3,15	0,718	0,18	3,33
HCl	378	1,91	0,54	0,982	0,31	0,62
BF <sub>3</sub>	183	1,61	1,48	0,832	0,86	0,33
HI	324	2,29	0,85	0,949	0,60	0,36
CCl <sub>4</sub>	357	1,26	0,54	0,917	1,49	0,33
Метан	156	0,98	0,85	0,851	0,36	1,54
Этан	253	1,00	0,62	0,879	1,10	1,31
Пропан	348	1,01	0,45	0,913	1,07	0,34
<i>n</i> -Бутан	411	1,03	0,33	0,954	0,62	0,72
<i>изо</i> -Бутан	398	1,02	0,26	0,996	0,39	0,17
<i>n</i> -Пентан	465	0,99	0,27	0,971	0,80	0,59
<i>изо</i> -Пентан	325	0,84	0,32	0,945	0,49	0,19
<i>n</i> -Гексан	373	0,85	0,39	0,903	0,83	1,09
<i>n</i> -Гептан	483	0,87	0,20	0,998	0,24	0,32
<i>n</i> -Октан	510	0,83	0,18	1,003	0,10	0,13
Этилен	227	1,05	0,89	0,835	0,39	1,51
Пропилен	325	1,04	0,38	0,952	0,16	0,52
Бутен-1	395	1,04	0,26	1,000	0,41	0,20
Бутен-2	331	0,93	0,36	0,941	0,11	0,66
<i>изо</i> -Бутилен	403	1,09	0,26	1,006	0,43	0,18
Ацетилен	230	1,06	0,62	0,898	0,23	0,06
Бензол	428	1,07	0,37	0,941	0,50	0,18
Толуол	407	0,96	0,31	0,954	0,35	1,03
Фреон-40	253	1,18	0,48	0,954	0,24	0,22
Фреон-11	121	0,93	1,37	0,776	0,32	0,42
Фреон-12	67	0,88	2,53	0,683	0,34	0,27
Фреон-21	108	0,90	1,24	0,793	0,42	0,10
Фреон-22*	163	1,17	1,34	0,804	0,35	0,13
Фреон-113	58	0,71	2,12	0,681	0,11	0,05
Метанол	703	1,80	0,26	1,039	1,58	0,29
Этанол	609	1,46	0,25	1,024	1,51	0,22
Пропанол-1	413	1,08	0,28	0,989	0,92	0,53
Пропанол-2	468	1,15	0,29	0,984	1,15	0,21
<i>n</i> -Бутанол	455	1,04	0,27	0,980	1,27	0,35
Диэтиловый эфир	463	1,08	0,28	0,979	1,44	0,53

Окончание табл. 1

<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Этилацетат	520	1,18	0,25	1,003	1,41	0,38
Ацетон	630	1,31	0,207	1,034	1,41	0,25

\* при давлении 2 бар

Из табл. 1 видно, что при расчете по формуле (1) для 38 газов из 56 согласие расчетных значений вязкости с экспериментальными данными хорошее (средняя погрешность менее 1 %), для 15 газов согласие удовлетворительное (средняя погрешность составляет 1–2 %) и для 3 газов плохое (средняя погрешность более 4 %). При расчете по формуле (2) для 36 газов согласие хорошее, для 7 газов удовлетворительное и для 13 газов плохое.

**Заключение.** В целом формула Фроста хуже согласуется с экспериментом, чем формула Сазерленда. Хотя для половины рассмотренных газов формула Фроста точнее, а для 10 газов погрешность расчета по формуле Фроста значительно меньше.

Следует отметить, что формула Фроста, как правило, хорошо согласуется с экспериментом для газов с  $m > 0,9$ . Так как величина параметра  $m$  характеризует отклонение формулы Фроста от уравнения для модели невзаимодействующих сфер ( $\eta = kT^{0,5}$ ), то этот параметр можно рассматривать как характеристику силы взаимодействия между частицами в газообразном состоянии. Таким образом, формула Фроста лучше подходит для веществ с сильным взаимодействием в газообразном состоянии.

### Список литературы

1. Капустин В. М. Технология переработки нефти. В 4-х частях. Часть первая. Первичная переработка нефти / Под ред. О. Ф. Глаголовой. – М.: КолосС, 2012. – 456 с.
2. Рабинович В. А. Теплофизические свойства неона, аргона, криптона и ксенона / В. А. Рабинович, А. А. Вассерман, В. И. Недоступ, Л. С. Векслер. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 636 с.
3. Александров А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара / А. А. Александров, Б. А. Григорьев. – М.: Издательство МЭИ, 1999. – 168 с.
4. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
5. Физические величины / Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

## ВЛИЯНИЕ КРЕМНЕЗЕМА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ К ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕГРАДАЦИИ

*Лыга Р.И.*, канд. хим. наук,

*Михальчук В.М.*, д-р хим. наук, проф.,

*Могила Т.Н., Линник Д.С., Куриленко Д.Т.*

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

*lygarita@mail.ru*

**Введение.** В настоящее время возрастаёт потребность в создании композитных материалов, устойчивых к внешним факторам воздействия, в частности, к действию повышенных температур и окислительных сред. Некоторые области применения требуют жестких условий эксплуатации, которые быстро ухудшают характеристики материалов. Использование нанотехнологий в области композитных материалов открыло новые возможности в разработке современных композитов с уникальными функциональными характеристиками. Нанокомпозиты позволяют улучшить термические свойства в сочетании с высокими механическими параметрами.

Диоксид кремния является одним из наиболее перспективных наполнителей для полимерных композитов, поскольку для него характерен стабильный химический состав, низкая стоимость, возможность легко и контролируемо получить методом Stöber и вводить в состав материалов на основе эпоксидных полимеров.

Исследование термоокислительной стабильности композитов, изучение кинетики окислительных и деструкционных процессов, влияния наполнителя на свойства полимерных материалов позволяют моделировать поведение композитов в реальных эксплуатационных условиях. Это будет способствовать решению проблемы разработки более долговечных функциональных материалов.

В данной работе получены эпоксидный полимер и эпоксидно-кремнеземные композиты аминного отверждения на основе диглицидилового эфира дициклогексилолпропана (Eponex 1510) и изучены их свойства.

**Основная часть.** Для получения нанокомпозитов в качестве полимерного связующего использовали эпоксидную полимерную матрицу на основе циклоалифатического олигомера Eponex 1510 и отвердителя – циклоалифатического полиамина Ancamine 2579. Для синтеза частиц кремнеземного наполнителя применяли золь-гель технологию *in situ*, которая подразумевает протекание гидролиза и последующей поликонденсации прекурсора – тетраэтоксисилана. Используемый амин одновременно выполнял роль катализатора гидролитической поликонденсации прекурсора. Содержание кремнеземного наполнителя в полученных композитах составляло от 1 до 10 масс. %. Установлено

армирующее влияние кремнезема при его концентрациях от 5 до 10 масс. % на эпоксидную полимерную матрицу композитов, что проявляется в повышении температуры стеклования и температуры завершения перехода композитов в высокоэластическое состояние.

Термогравиметрические исследования при доступе кислорода воздуха в изотермических и неизотермических условиях показали, что термоокислительная деструкция немодифицированного полимера и композитов проходит в несколько стадий. При этом наблюдается наложение стадий друг на друга. Процесс начинается с удаления легколетучих компонентов (влаги и спирта). Затем следует основная стадия потери массы, где с большой скоростью и практически одновременно идут процессы термической и термоокислительной деструкции полимера (композита).

Установлено, что присутствие/удаление газообразных продуктов термоокислительной и термической деструкции влияет на скорость основной стадии деградации композитов и продолжительность заключительной стадии деструкции образцов. А количество и интенсивность выделения газообразных продуктов деградации композитов напрямую связано с присутствием золь-фракции в образцах.

Композит, содержащий 2 масс. %  $\text{SiO}_2$ , в изотермических высокотемпературных условиях теряет массу со скоростью в 3 раза меньше, чем немодифицированный полимер. Газоволюметрические исследования показали, что высокотемпературное окисление кислородом немодифицированного полимера и композитов аминного отверждения имеет автокатализический характер, и используемый наполнитель повышает энергию активации окислительного процесса.

Методом ИК-спектроскопии установлено, что механизм высокотемпературной термоокислительной деградации чистого полимера и кремнеземного композита не имеет отличий. На спектрах поглощения окисленных образцов появляются полосы, отвечающие карбонильным соединениям: валентные колебания  $\text{C}=\text{O}$  при  $1720\text{--}1740\text{ см}^{-1}$  в случае полимера и при  $1724\text{--}1745\text{ см}^{-1}$  в случае композита. Наблюдаемые удвоенные полосы могут отвечать образующимся альдегидной и формиатной группам, что возможно в случае протекания не только окислительного, но и деструкционного процессов.

**Заключение.** Показано, что введение  $\text{SiO}_2$  в состав композитов приводит к ингибированию процесса окисления субстрата. Стабилизирующее влияние кремнеземного наполнителя проявляется также в условиях изотермического старения и неизотермической термоокислительной деградации. Предложен механизм термоокислительной деструкции эпоксидного полимера и композитов.

## СВОЙСТВА ЭПОКСИДНО-АМИННЫХ ПОЛИМЕРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДОВ ЦИРКОНИЯ И КРЕМНИЯ

*Могила Т.Н., Михальчук В.М.*, д-р хим. наук, проф.,  
*Лыга Р.И.*, канд. хим. наук, *Линник Д.С., Полищук Т.Б.*  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, ДНР  
*mr.t.95@mail.ru*

**Введение.** Эпоксидно-аминные полимеры нашли широкое применение в качестве связующих, защитных и декоративных покрытий. Однако со временем воздействие агрессивных факторов окружающей среды приводит к ухудшению свойств полимерной матрицы и снижает срок службы покрытий и материалов на их основе. Неорганические наночастицы, вследствие их уникальных физико-химических характеристик, позволяют модифицировать свойства полимерных композитов и расширять области их практического применения в промышленности: авиастроении, электронике, приборостроении и т. д. Введение неорганических наполнителей в эпоксидную матрицу может способствовать повышению устойчивости композитов к действию агрессивных сред, а также улучшению характеристик материалов на их основе.

Среди большого разнообразия наполнителей особое внимание привлекают оксиды кремния, алюминия, циркония и титана. Наночастицы таких оксидов имеют очень высокую удельную поверхность со свободными реакционными группами, которые могут принимать участие в реакциях окислительной деградации полимерной матрицы. Следует отметить, что комбинирование оксидных нанонаполнителей позволяет изменять химическую природу поверхностного слоя наночастиц и их реакционную способность, а также изменять распределение частиц наполнителей в композитах: от плотных агрегатов до пространственной сетки, образованной наночастицами.

Целью данной работы является получение эпоксидных композитов на основе цирконилгидроксида и оксида кремния, а также изучение влияния наполнителей на свойства полученных материалов.

**Основная часть.** Нанокомпозиты получали на основе эпоксидной смолы Eponex 1510 и аминного отвердителя Jeffamine T403. В эпоксидное связующее последовательно вводили цирконилгидроксид и тетраэтоксисилан, из которого гидролитической поликонденсацией формировали кремнийоксидную оболочку. Цирконилгидроксид и алcoxид кремния вводили в композицию в таком количестве, которое обеспечивает массовое соотношение  $ZrO_2:SiO_2$  в синтезированных композитах, равное

1:1 и 1:2. Общая массовая доля комбинированного наполнителя в образцах составляла 2–15 %.

Термогравиметрический анализ полученных образцов показал, что введение комбинированного наполнителя в состав композитов приводит к увеличению температуры начала перехода в высокоэластическое состояние на 3–9 °C, а температуры завершения этого перехода на 5–25 °C. Такое изменение температуры стеклования объясняется армирующим действием пространственной сетки, образованной наночастицами наполнителя.

Газоволюметрическим методом исследована устойчивость плёночных образцов композитов к высокотемпературному окислению кислородом. Установлено, что введение наполнителя  $ZrO_2@SiO_2$  в состав композитов приводит к снижению скорости окисления. Например, при соотношении  $ZrO_2:SiO_2$ , равном 5:5 %, максимальная скорость поглощения кислорода композитом в 2,5 раза ниже, чем для ненаполненного полимера.

При изотермическом старении композитов в течение 3-х суток при 180 °C и доступе кислорода воздуха образцы с наименьшим содержанием комбинированного наполнителя теряют треть своей массы, в то время как потеря массы образцов с суммарным содержанием оксидов, равным 10 % ( $ZrO_2:SiO_2 = 1:1$ ), в два раза меньше.

В ходе термогравиметрических исследований было установлено, что термоокислительная деструкция композитов начинается при той же температуре, что и ненаполненного полимера, независимо от содержания наполнителя. Главным отличием является то, что максимальная скорость потери массы композитов почти в 2 раза ниже, чем немодифицированного полимера, а температурный диапазон термоокислительной деструкции становится значительно шире. При этом потеря массы проходит в две основные стадии. Температура максимума для первой стадии деструкции композитов составляет  $285 \pm 3$  °C, а для второй стадии максимальная скорость потери массы наблюдается при 330 – 350 °C в зависимости от концентрации оксидов циркония и кремния.

**Заключение.** Введение комбинированного наполнителя в состав эпоксидных композитов приводит к расширению области а-релаксационного перехода (перехода стеклообразного композита в высокоэластическое состояние) и его смещению в область более высоких температур. Высокотемпературная термоокислительная деструкция композитов протекает с меньшей скоростью и с меньшей потерей массы по сравнению с немодифицированным полимером.

## КИНЕТИКА РАЗЛОЖЕНИЯ МУРЕКСИДА В ПРИСУТСТВИИ СУСПЕНЗИИ СОИНТЕРКАЛАТА НИТРАТА ГРАФИТА С БУТИЛАЦЕТАТОМ

*Одарюк В.В.*, канд. хим. наук,

*Ракша Е.В.*, канд. хим. наук,

*Савоськин М.В.*, канд. хим. наук, с.н.с.

ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»,

г. Донецк, ДНР

*v.odaryuk@gmail.com*

**Введение.** Интеркалированный графит представляет собой продукт внедрения различных химических частиц – интеркалантов в межслоевое пространство природного чешуйчатого графита [1–3]. Интеркаланты взаимодействуют с графитовой матрицей за счет слабых Ван-дер-Ваальсовых взаимодействий и сохраняют высокую лабильность и, как следствие, способность к самопроизвольному деинтеркалированию. За счет лабильности азотной кислоты нитрат графита является одним из самых неустойчивых среди других соединений интеркалирования с кислотами Бренстеда. Перестройка графитовой матрицы нитрата графита начинается практически сразу после контакта с окружающей средой [4]. Одним из способов стабилизации нитрата графита является получение соединений соинтеркалирования нитрата графита (ССНГ) с органическими соединениями [1, 5]. Структурные перестройки ССНГ и его стабильность напрямую связаны с изменением количества азотной кислоты, а значит и количества протонов в графитовой матрице в процессе старения ССНГ. Поэтому существенный интерес представляет изучение протонной активности ССНГ. С этой целью в работе исследована реакция разложения мурексида в присутствии соинтеркалата нитрата графита с бутилацетатом.

**Экспериментальная часть.** ССНГ получали в результате обработки природного чешуйчатого графита марки ГТ-1 концентрированной азотной кислотой с последующей модификацией образующегося нитрата графита соинтеркалантом – бутилацетатом, в соответствии с методикой, приведенной в работе [6]. Для исследований использовали свежеприготовленный и экспонированный на воздухе образцы соинтеркалата.

Кинетику реакции разложения мурексида в кислой среде в водном растворе исследовали по уменьшению поглощения при  $\lambda = 521$  нм на спектрофотометре Spectronic Helios gamma (Thermo Fisher Scientific) при  $T = (293 \pm 1)$  К. Начальная концентрация мурексида во всех опытах была одинакова и составляла 0,15 мМ.

**Результаты и их обсуждение.** Мурексид (аммиачная соль 5,5'-нитрилодибарбитуровой кислоты) в кислой среде разлагается с

образованием продуктов – аллоксана и урамила. Скорость этой реакции зависит от концентрации протонов и сопровождается изменением окраски реакционной системы от красно-фиолетовой до бесцветной. Кинетические закономерности реакции разложения мурексида в кислой среде хорошо изучены [7]. Зависимость между кинетическими параметрами реакции и количеством  $H^+$  в реакционной системе позволяет использовать реакцию разложения мурексида как инструмент для непрямой оценки концентрации протонов [8]. Согласно [5], реакция разложения мурексида ( $Mu^-$ ) в кислой среде является реакцией второго порядка (уравнение 1):

$$\frac{d[Mu^-]}{dt} = k[Mu^-][H^+], \quad (1)$$

которая в условиях значительного избытка кислоты в реакционной системе протекает как реакция псевдопервого порядка с эффективной константой скорости  $k_{eff}$  ( $s^{-1}$ ), зависящей от концентрации протонов –  $k_{eff} = k[H^+]$ . Это было подтверждено в ходе кинетического анализа модельной реакции разложения мурексида в присутствии избытка азотной кислоты.

Добавление водной фазы суспензии свежеприготовленного образца ССНГ к раствору мурексида приводит к разложению последнего.

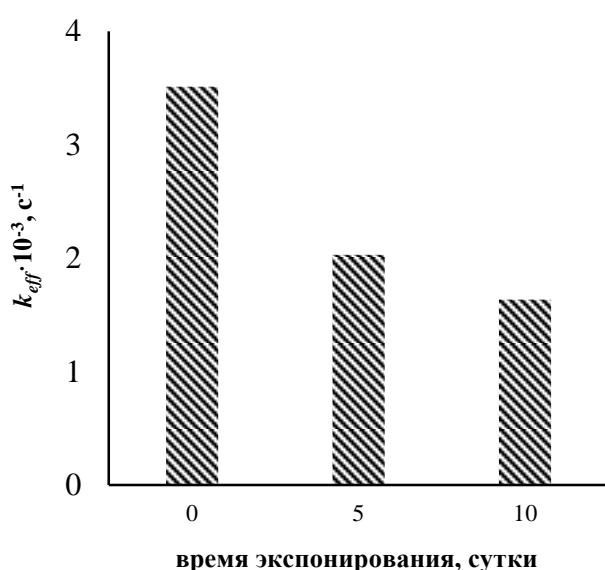


Рис. 1. Изменение  $k_{eff}$  реакции разложения мурексида в присутствии водной фазы суспензии ССНГ при экспонировании образцов на воздухе

пропорциональна массовой концентрации. Таким образом, кинетические закономерности разложения мурексида в присутствии суспензии ССНГ соответствуют кинетическим закономерностям протекания реакции в присутствии избытка азотной кислоты.

Хранение образцов ССНГ на воздухе при комнатной температуре обуславливает структурную реорганизации соинтеркалаторов за счет

очевидно, это обусловлено высвобождением в раствор протонов вследствие десорбции азотной кислоты с поверхности частиц ССНГ и ее деинтеркалирования из межслоевого пространства в результате протекания реакций сольватного обмена. Полученные кинетические кривые расходования мурексида при добавлении суспензии свежеприготовленного ССНГ линеаризуются в координатах реакции первого порядка. Показано, что эффективная константа скорости реакции прямо ССНГ в суспензии. Таким

реакций сольватного обмена с участием атмосферной влаги [5]. Это приводит к деинтеркалированию азотной кислоты из графитовой матрицы ССНГ и вследствие этого к уменьшению концентрации протонов, высвобождаемых в суспензию из образцов ССНГ. Об этом свидетельствует наблюдаемое уменьшение величины  $k_{eff}$  для образцов ССНГ (рис. 1) при экспонировании на воздухе при комнатной температуре.

**Заключение.** Реакция разложения мурексида в кислой среде в водном растворе может быть использована как инструмент для непрямой оценки участия ССНГ в реакциях сольватного обмена и стабильности при хранении.

### Список литературы

1. Stabilization of graphite nitrate by intercalation of organic compounds / M.V. Savoskin, A.P. Yaroshenko, R.D. Mysyk, et al. // Theoretical and Experimental Chemistry. – 2004. – V. 40. – I. 2. – P. 92-97.
2. Acceptor-type graphite intercalation compounds and new carbon materials based on them / N.E. Sorokina, I.V. Nilolskaya, S.G. Ionov, V.V. Avdeev // Russian Chemical Bulletin, Int. ed. – 2005. – V. 54, No 8. – P. 1749-1767.
3. Chung D.D.L. A review of exfoliated graphite / D.D.L. Chung. // J. Mater. Sci. – 2015. – V. 51. – P. 55–568.
4. Air stability and surface passivation of acceptor-type graphite intercalation compounds / X. Zhang, M. Lerner, H. Gotoh, M. Kawaguchi // Carbon – 2000. – V 38, № 13. – P 1775-1783.
5. New graphite nitrate derived intercalation compounds of higher thermal stability / M.V. Savoskin, A.P. Yaroshenko, G.E. Whyman, R.D. Mysyk // J. Phys. Chem. Sol. – 2006. – V. 67, Iss. 5-6. – P. 1127-1131.
6. Синтез и свойства соединений соинтеркалирования нитрата графита со сложными эфирами карбоновых кислот / А.А. Давыдова, Е.В. Ракша, В.А. Глазунова и др. // Журнал неорганической химии. – 2021. – Т. 66, № 3. – С.336-343.
7. Knoche W. The kinetics and mechanism of the decomposition of murexide in acid solution // W. Knoche, N.H. Rees // Journal of Chemical education. – 1984. – V.61. – P. 724-726.
8. Barrabas S. Rate of decomposition of murexide in mixed solvents: an indicator for proton activity / S. Barrabass, K. Stickdorn, W. Knoche. – 1995. – V. 91, No 4. – P. 637-641.

УДК 662.73:66.091.12

## ПРЯМОЕ ОЖИЖЕНИЕ БУРОГО И ДЛИНОПЛАМЕННОГО УГЛЕЙ В ПРИСУТСТВИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

*Осипов А. М., канд. хим. наук, доц., Грищук С. В.*

ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»,  
г. Донецк, ДНР  
*sgrishchuk@yandex.ru*

**Введение.** Органическая масса ископаемого угля (ОМУ) является сложной физико-химической смесью разных по размеру и составу

молекул. Отдельные фрагменты макромолекул соединены различными по природе и прочности связями. Меньшая часть ОМУ (не более 20 мас. %) состоит из молекул относительно небольшой массы, не соединенных между собой и с остальной ОМУ прочными связями, и поэтому может быть экстрагирована подходящими растворителями. Основная часть ОМУ образована сшитой в трех направлениях сеткой («угольная матрица»). Предложен термин «структурная единица» («клuster»). Этот «мономер» представляет собой плоский углеродный слой из нескольких ядер, содержащий алифатические радикалы, и имеет массу 200–500 усл. ед. [1]. Считается, что основными связующими химическими группами являются эфирные, метиленовые и сульфидные.

Такие представления о химической структуре ОМУ показывают неизбежность протекания при гидроожижении углей множества реакций. Поэтому в качестве как промежуточных соединений, так и конечных продуктов рассматриваются многокомпонентные смеси веществ различных классов: газов, масел, асфальтенов, преасфальтенов. Полярность продуктов увеличивается в ряду: масла < асфальтены < преасфальтены. Масла имеют массу 150–400 усл. ед., асфальтены – от 300 до 1100 и асфальтолы – более 1400 усл. ед. [2].

Ожигание угля начинается с термического разрыва алкильных мостиков, эфирных группировок и т. п. Образовавшиеся свободные радикалы стабилизируются автогенным переходом водорода или атомами водорода от растворителя. Роль катализатора заключается в активации  $H_2$  и ускорении гидрирования растворителя – акцептора и донора водорода. Без внешнего растворителя роль переносчика водорода на начальной стадии процесса выполняет экстрагируемая часть исходной ОМУ (она становится подвижной при относительно низких температурах) [3].

**Экспериментальная часть.** Цель настоящей работы – определение возможности использования стандартных гетерогенных катализаторов (ГКт) нефтепереработки для прямого ожигания ископаемых углей.

Всего испытано девять ГКт – шесть алюмо-кобальт-никель-модибден-вольфрам-железных и три Д-7 ( $Ni/MoO_3/Al_2O_3$ , модифицированных соединениями элементов II группы). Удельная поверхность образцов – 160–180  $m^2/g$ .

Гидрогенизации были подвергнуты длиннопламенный уголь (ДУ) Донбасса (пласт I<sub>4</sub>, шахта «Трудовская») и бурый уголь (БУ) Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна с характеристиками соответственно (мас. %): W<sup>a</sup> 12,8 и 14,5; A 2,7 и 4,5; V<sup>r</sup> 40,8 и 47,4; C<sup>r</sup> 85,0 и 70,0; H<sup>r</sup> 4,2 и 4,8; N<sup>r</sup> 1,5 и 0,2; S<sup>r</sup> 2,2 и 0,2; O<sup>r</sup> разн. 7,1 и 24,8. Гидрирование в отсутствие растворителя проводили во вращающемся лабораторном автоклаве объемом 0,6 л. В таблицах 1 и 2 указано время выдержки при соответствующей температуре. Для проведения опытов брали 40–60 г угля

и 10 % от этой навески ГКт, измельченных до размера не более 0,25 мм. Количество присоединенного водорода и выделившихся газов рассчитывали с учетом начального и конечного давления (при комнатной температуре), объема автоклава и состава газовой фазы. Продуктами реакции были полужидкая масса (гидрогенизат), газ и вода ( $\text{pH} = 6\text{--}7$ ).

Анализы углей и гидрогенизатов проводили по соответствующим ГОСТам, газовой фазы – на газожидкостном хроматографе. Степень конверсии определялась по зольности остатка гидрогенизата после экстракции спирто-бензолом по Грефе как отношение величины превращенной ОМУ к величине исходной ОМУ.

Условия и результаты гидрогенизации каменного угля представлены в табл. 1. По величине степени конверсии (во всех случаях более 90 %) не наблюдается существенной разницы между ГКт. Также близки выходы спирто-бензольного экстракта (смесь масел, асфальтенов и преасфальтенов).

Таблица 1

Условия и выход продуктов гидрогенизации длиннопламенного угля  
(начальное давление  $\text{H}_2 = 10 \text{ МПа}$ ; время 5 ч; средняя температура 350–360 °C)

Катализатор	Поглощение $\text{H}_2$ , % от ОМУ	Конверсия ОМУ, мас. %	Выход газов, % от ОМУ	Выход спирто-бензольной фракции, % от ОМУ
Al-Mo	3,6	90,5	6,6	70,3
Al-Co-Mo	3,3	97,4	6,5	78,6
Al-Ni-Mo	2,7	92,0	3,9	77,2
Д-7-2	4,0	95,6	8,4	72,2
Д-7-3	4,2	92,2	6,7	70,3
Д-7-5	3,9	93,6	6,5	71,5
КБ	3,9	97,9	6,1	77,7
№ 3076	4,2	90,0	7,6	67,2
№ 8376	3,5	91,0	8,7	68,4

При гидрогенизации каменного угля выделяется мало газов (не более 8,7 % от ОМУ). При этом основной объем составляют метан, этан и пропан и менее 2 % объема –  $\text{CO}_2$ . Таким образом, из ДУ кислород выделяется в основном в виде воды.

При гидрогенизации бурого угля газообразование очень значительно: до 44 % с ГКт при 380 °C (табл. 2), что является существенным недостатком. Выход газов увеличивается с ростом температуры и мало зависит от продолжительности её воздействия. Основной объем газов (60–80 %) составляет  $\text{CO}_2$ , остальное – углеводороды. Следовательно, из БУ кислород выделяется преимущественно в виде  $\text{CO}_2$ . Катализатор КБ и для бурого угля является одним из лучших. Таким образом, нет необходимости использовать высокую концентрацию гидрирующих компонентов (Mo, Ni и Co) для получения достаточно активного ГКт. На

примере ГКт Д-7-5 при 360 °С найдено, что степень конверсии, сумма фракций и выход масел линейно растут в зависимости от времени. Выход асфальтенов и преасфальтенов проходит через максимум.

Таблица 2  
Условия и выход продуктов гидрогенизации бурого угля

Катализатор	Давление H <sub>2</sub> , МПа	Средняя температура, °C	Время опыта, ч	Поглощение H <sub>2</sub> , % на ОМУ	Конверсия ОМУ, мас. %	Выход газов, % от ОМУ	Сумма фракций, % от ОМУ
Д-7-2	7,8	380	2	3,9	63,0	29,5	31,7
Д-7-3	10,0	375	2	5,4	91,5	32,0	51,9
Д-7-5	7,5	340	4	1,7	48,4	5,0	43,4
Д-7-5	8,0	360	4	3,6	84,5	20,2	58,2
Д-7-5	10,0	380	2	3,6	85,0	37,7	44,0
Д-7-5	8,0	400	2	4,3	87,6	38,0	36,0
КБ	10,0	380	3	5,3	92,3	44,0	39,4
КБ	7,6	400	2	3,1	92,0	38,5	46,5

**Выводы.** Показано, что гетерогенные катализаторы нефтепереработки активны также в гидроожижении ископаемых углей. ГКт более перспективны при ожигании длиннопламенного угля по сравнению с бурым углем: для каменного угля выше степени конверсии и выходы жидких продуктов.

### Список литературы

1. Скрипченко Г. Б. Методология изучения молекулярной и надмолекулярной структуры углей и углеродных материалов / Г. Б. Скрипченко // Химия тверд. топлива. – 2009. – № 6. – С. 7-14.
2. Глубокая переработка бурых углей с получением жидких топлив и углеродных материалов: монография / Б. Н. Кузнецов, Т. Г. Шендрик, М. Л. Щипко, Н. В. Чесноков, В. И. Шарыпов, А. М. Осипов / отв. ред. Г. И. Грицко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 212 с.
3. Кузнецов Б. Н. Научные основы подбора катализаторов для процессов глубокой переработки твердого ископаемого и возобновляемого органического сырья / Б. Н. Кузнецов // Кинетика и катализ. – 2009. – Т. 50, № 6. – С. 886-894.

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ АЛУНИТОВОГО СЫРЬЯ ТОКМАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТОДОМ СПЕКАНИЯ С ХЛОРИДОМ КАЛЬЦИЯ

*Савзаева Ш.Х.<sup>1</sup>, Назаров Ш.Б.<sup>2</sup>, д-р хим. наук, Азимов Д.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими

<sup>2</sup>Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистан,

г. Душанбе, Республика Таджикистан

*bek\_azimov91@mail.ru*

В связи с истощением бокситов – основного сырья для получения алюминия последнее время большое значение приобретают высококремнистые алюминиевые руды, например, алуниты. Токмакское месторождение алунитовых руд характеризуется следующим химическим составом: 19,3 %  $Al_2O_3$ , 63,09 %  $SiO_2$ , 3,53 %  $Fe_2O_3$ , 0,86 %  $TiO_2$ , 3,2 %  $K_2O$ , 1,14  $Na_2O$ , 3,6 %  $SO_3$ , 0,84 %  $MgO$ , 4,42 %  $H_2O$ , 0,02 % п.п.

Природные алуниты трудно вскрываются минеральными кислотами, в частности серной. Для облегчения разложения их подвергают обжигу. При температуре 650 °C, удаляется 6 моль гидроксильной воды и минерал алунит превращается в безводные алюмокалиевые квасцы и аморфный глинозем [1, 2].

С целью интенсификации процесса разложения алунитового сырья и определения влияния различных физико-химических факторов на степень вскрытия алунитов месторождения Токмак последние смешивали с безводным хлоридом кальция и спекали в муфельной печи при температурах 550–750 °C с последующей обработкой полученного спека водой и соляной кислотой.

Определены оптимальные технологические режимы проведения процесса спекания руды с хлоридом кальция, водной обработки спека и кислотного разложения силикатного остатка от водной обработки спека.

На рис. 1а приведен график зависимости массового соотношения алунитового сырья к хлориду кальция. Оптимальным условием является: 1:2÷2,5 [3]. Влияние параметра температуры спекания на степень извлечения компонентов спека –  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , и  $K_2O$  показано на рис. 1б. Как видно, с увеличением температуры спекания от 300 °C до 700 °C степень извлечения  $Al_2O_3$  увеличивается от 32,5 до 95,4 %,  $Fe_2O_3$  от 24,8 % до 98,7 %, а  $K_2O$  от 42,1 % до 97,0 %. Оптимальной температурой спекания можно считать 650–700 °C. Степень извлечения компонентов, составляющих шихту, достигает 95,0–99,8 %.

На рис.2 показана рентгенограмма алунитового спека, полученного при оптимальных режимах процесса спекания алунитов Токмак и хлорида кальция.

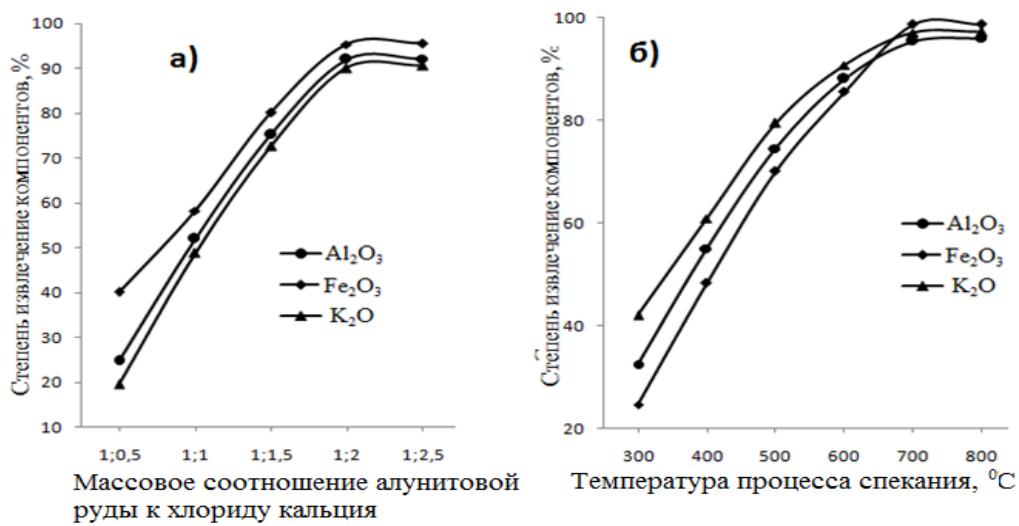


Рис. 1. Влияние массового соотношения руды к  $\text{CaCl}_2$  и температуры спекания на степень извлечения компонентов состава алюнитовой руды

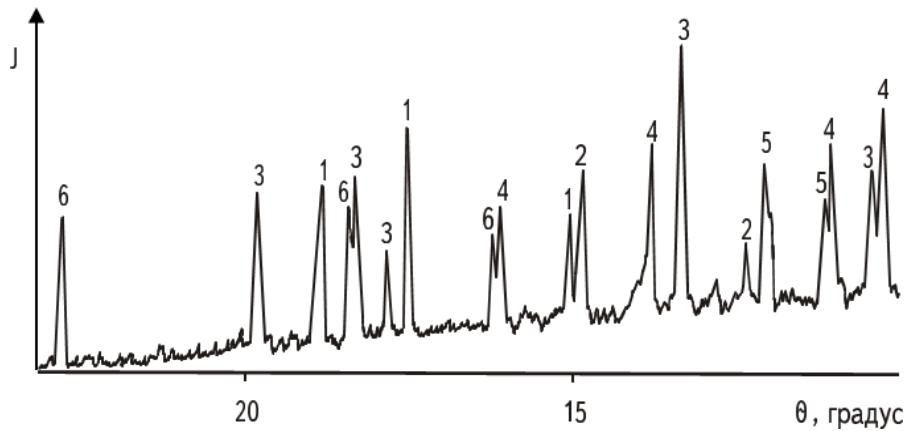


Рис. 2. Рентгенограмма алюнитового спека. 1-иллит; 2-ярозит; 3- $\alpha$ -кварц; 4-калиевые квасцы; 5-хлорид кальция; 6- $\gamma$ -глинозем

Из рисунка видно, что в состав исходного спека входят минералы иллит, ярозит,  $\alpha$ -кварц, калиевые квасцы и хлорид кальция,  $\gamma$ -глинозем.

Далее с целью выделения водорастворимых компонентов спека проводили водную обработку спека. Основные результаты влияния различных физико-химических факторов на извлечения компонентов состава спека при процессе его водной обработки приведены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, при процессе водной обработки спека в раствор в основном переходит хлорид кальция, а  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  – незначительно.

Таким образом, найдены технологические параметры процессов спекания алюнитовой руды с хлоридом кальция: температура спекания – 650–750 °C; массовое соотношение алюнитового сырья к хлориду кальция 1:2÷2,5; продолжительность процесса спекания 30–40 мин; крупность частиц алюнитовой руды 0,1 мм и менее. Условия водной обработки спека: температура водной обработки спека – 90–100 °C; массовое соотношение спека к воде 1:7÷10; продолжительность водной обработки – 35–45 мин.

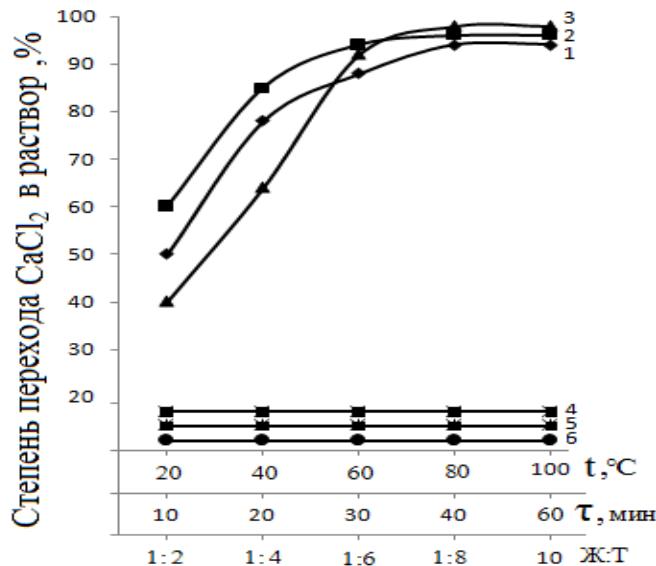


Рис. 3. Влияние температуры водной обработки алюнитового спека (1), длительности обработки (2), массового соотношения жидкой фазы к твердой (3) на степень извлечения хлорид кальция состава спека и других примесей: 1,2,3-  $\text{CaCl}_2$ ; 4. $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 5. $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 6. $\text{K}_2\text{O}$

#### Список литературы

1. Тураева З.С. Переработка нефелиновых сиенитов месторождения Турпи методом спекания с хлоридом магния / Савзаева Ш.Х., Назаров Ш.Ш., Назаров Ш.Б. // Научно-практический журнал «Энigma». – 2021. – Вып. № 35. – С. 54-63.
2. Электрофизические и нанохимические инновации в обеспечении энергосберегения, промышленной и экологической безопасности / Д.С. Азимов [и др.] // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2018. – № 46 (72). – С. 120-122.
3. Ба М.Т., Effects of ac frequency on the physicochemical characteristics of water / Ба М.Т., Azimov D.S., Knyazev A.S., Ivakhnyuk G.K. // Key Engineering Materials. – 2017. – Т. 743. – С. 326-330.

УДК 662.7:552.57

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СТРУКТУРУ БУРОГО УГЛЯ И ЕГО ПОВЕДЕНИЕ ПРИ ПИРОЛИЗЕ

**Шевкопляс В.Н.<sup>1</sup>,** канд. хим. наук, с.н.с.,  
**Бутузов Г.Н.<sup>2</sup>,** канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup>ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко», г. Донецк, ДНР

<sup>2</sup>ОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР  
*v-shevkoplyas@ukr.net*

**Введение.** Согласно работы [1] перспективным направлением переработки углей может быть проведение пиролиза в присутствии

химических веществ различных классов, при этом создаются хорошие предпосылки целенаправленного воздействия на глубину и скорость конверсии их органической массы в продукты различного агрегатного состояния и назначения.

**Основная часть.** Ранее проведенными исследованиями было показано, что обработка углей растворами неорганических веществ в процессе пиролиза ведет к увеличению скорости и глубины деструкции их ОМ в жидкие и газообразные продукты, что, в первую очередь обусловлено изменениями в составе и структуре исследуемых углей уже на стадии обработки [2]. Предварительная обработка химическими реагентами также ведет к изменению межслоевых расстояний между полиареновыми фрагментами и размеров кристаллитов; установлены основные отличия вызванных щелочами структурных изменений в углях низкой и высокой стадии метаморфизма [3].

Химическую обработку (активацию) бурого угля ( $C^{daf} = 71,0\%$ ) проводили по следующей методике [4]. Навеску исходного угля обрабатывали 1 М раствором неорганического вещества (КОН, НСl и СаО) и водой в весовом соотношении 1÷0,5 в. ч. (уголь-раствор). Полученную смесь оставляли в эксикаторе в течение 12 ч для реагирования при н. у. с последующей сушкой в термостате при 105 °С. Пиролиз образцов угля проводили в автоклаве при температуре 500 °С, время изотермической выдержки – 1 ч. По окончании опыта рассчитывали материальный баланс процесса и определяли выход жидких продуктов. Расчет основных структурных параметров исходного угля и активированных образцов проводили методом рентгеноструктурного анализа (РСА) [5].

Целью данной работы было оценить влияние предварительной активации угля растворами неорганических веществ на исходную структуру угля и дальнейшее его поведение в процессе пиролиза.

На рис. 1 приведены дифракционные профили бурого угля, активированного неорганическими веществами и водой. Видно, что химическая активация существенно влияет на изменение структурных параметров угля:  $L_c$  – высота пакета;  $L_a$  – ширина пакета;  $h/l_{002}$  – степень межслоевой упорядоченности кристаллита. Для всех исследуемых образцов характерно присутствие  $\gamma$ -полос ( $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ ) различной интенсивности. Интегральная интенсивность максимума 002 и  $\gamma$ -полос пропорциональна количеству структурных элементов, соответствующих ароматической, полинафтеновой и кислородсодержащей составляющей угля, соответственно.

По-видимому при воздействии КОН на уголь происходит мощный щелочной гидролиз, при котором разрушаются С–О–С и С–С поляризованные связи с образованием низкомолекулярных продуктов, преимущественно гуматов. Одновременно происходит ликвидация Н–связей за счет замещения водорода в СООН и OH– группах на ионы щелочного металла ( $K^+$ ).

Следовательно, могут протекать реакции между углем и неорганическим веществом, как на поверхности угля, так и по месту разрыва C–O–C и C–C алифатических связей. При взаимодействии угля с CaO также протекает щелочной гидролиз, однако менее сильный, что, по-видимому, обусловлено валентностью кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ). При этом, разрушение межслоевых H– связей может происходить за счет образования комплексов:  $(\text{COO})_2\text{Ca}$  – и O–Ca–. Разупорядочивание структуры угля под воздействием HCl происходит за счет разрушения C–C связей и органоминеральных связей, а также удаления катионов-комплексообразователей.

Водородные связи при этом практически не разрушаются. Вода также приводит к изменению структурных параметров ( $L_c$ ,  $h/l_{002}$ ) исходного угля, однако менее значительно, чем растворы неорганических веществ.

Согласно данным РСА (табл. 1), активация угля ведет к существенному изменению основных элементов его структуры. Наибольшее влияние на структуру угля оказывает KOH. При этом параметр  $d_{002}$  – расстояние между слоями остается неизменным (0,387 нм).

Таблица 1

Влияние активации на структурные параметры бурого угля

Активатор	$L_c$ , нм	$L_a$ , нм	$h/l_{002}$	$h/l_{\gamma_1}$
исходный	1,42	2,29	0,97	1,00
$\text{H}_2\text{O}$	1,37	3,12	0,92	0,93
CaO	1,14	3,13	0,52	0,67
KOH	0,94	3,08	0,35	0,24
HCl	1,35	2,87	0,80	0,74

Проведенный пиролиз позволил выявить взаимосвязь между выходом жидкого продукта пиролиза (500 °C) и степенью межслоевой упорядоченности кристаллита ( $h/l_{002}$ ), активированных неорганическими веществами углей (рис. 2), которую можно описать уравнением линейной регрессии с  $R = -0,993$ .

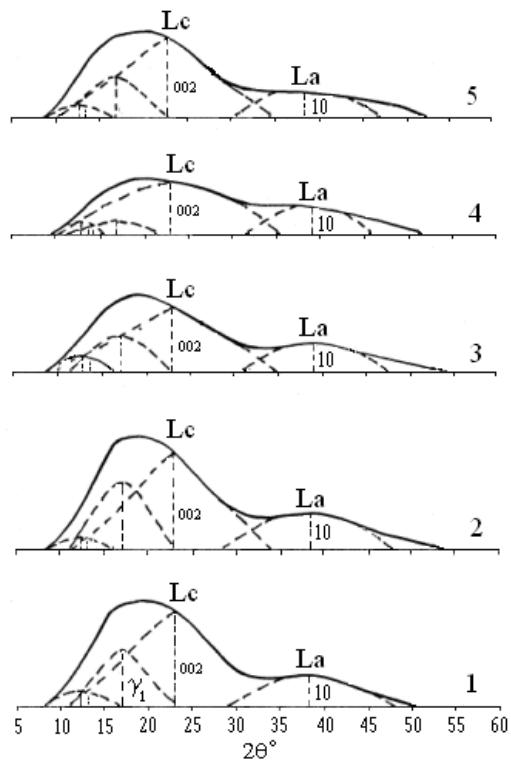


Рис. 1. Дифракционные профили образцов бурого угля ( $C^{\text{daf}} = 71,0\%$ ):  
1 – исходный;  
2 – обработанный  $\text{H}_2\text{O}$ ;  
3 – CaO;  
4 – KOH;  
5 – HCl

**Заключение.** В работе показано, что химическая активация ведет к разупорядочиванию основных элементов структуры и существенным изменениям в ароматической и полинафтеновой части бурого угля. Выявленная взаимосвязь между выходом жидких продуктов пиролиза ( $500^{\circ}\text{C}$ ) и показателем  $h/l_{002}$  создает возможность прогнозировать ход термической деструкции угля в присутствии химических активаторов.

### Список литературы

- Ганкина Л.В. Особенности термической деструкции модифицированных бурых углей / Л.В. Ганкина, В.А. Сухов, А.Ф. Луковников // Химия твердого топлива. – 1980. – № 1. – С. 105-112.
- Tromp P.J.J. Probing The influence of  $\text{K}_2\text{CO}_3$ - and  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  addition of the flash pyrolysis of a lignite and bituminous coal with Curie-point pyrolysis techniques / P.J.J. Tromp, J.A. Moulljn, J.J. Boon // Fuel. – 1986. – Vol. 65, № 7. – P. 960-967.
- Srivastava S.K. Influence of alkali on pyrolysis of coal / S.K. Srivastava, T. Saran, J. Sinha, L.V. Ramachandran, S.K. Rao // Fuel. – 1988. – Vol. 67. – № 10. – P. 1683-1684.
- Тамко В.А. Влияние неорганических щелочей и кислот на выход и состав жидких продуктов пиролиза низкометаморфизованных углей / В.А. Тамко, В.Н. Шевкопляс // Химия твердого топлива. – 1995. – № 5. – С. 67-77.
- Скрипченко Г.Б., Никифоров Д.В. Преобразование молекулярной структуры углей в процессе метаморфизма и изменение их теплофизических характеристик / Г.Б. Скрипченко, Д.В. Никифоров // Химия твердого топлива. – 1996. – № 3. – С. 31-44.

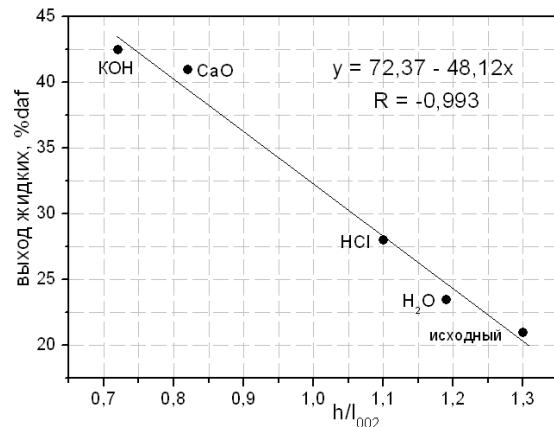


Рис. 2 Взаимосвязь между величиной параметра  $h/l_{002}$  и выходом жидких продуктов ( $500^{\circ}\text{C}$ ) из бурого угля

# СОДЕРЖАНИЕ

## МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

### *Механика твердого тела*

<i>Горр Г.В., Балаклицкая Т.В., Ткаченко Д.Н.</i> Об асимптотически-равномерных движениях гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил .....	5
<i>Горр Г.В., Мазнев А.В.</i> О движении главных осей инерции гиростата в случае регулярных прецессий .....	10
<i>Данилюк Д.А., Пилпани Ю.Ю.</i> Асимптотически-равномерные движения твердого тела в решениях А. Клебша, А.М. Ляпунова, В.А. Стеклова уравнений Кирхгофа-Пуассона .....	13
<i>Коносевич Б.И., Коносевич Ю.Б., Мозалевская Г.В.</i> Оценки неограниченных интегральных кривых уравнения бестоковой модели синхронного электромотора .....	16
<i>Мазнев А.В., Горбунова Ю.С.</i> Инвариантные соотношения уравнений движения неавтономного гиростата .....	19
<i>Платонова Е.С.</i> Алгебраические инвариантные соотношения одной задачи о движении гиростата .....	22
<i>Щепин Н.Н.</i> Об уточнении выражения для упругого момента в шарнирном сочленении системы твердых тел .....	24

### *Механика деформируемого твердого тела*

<i>Богачев И.В., Недин Р.Д.</i> Расчет колебаний сплошных и перфорированных пластин с двумерным распределением механических свойств и предварительных напряжений .....	28
<i>Болюкин В.Е., Сторожев В.И., Пачева М.Н.</i> Сдвиговые волны в волноводе из состыкованных под углом функционально-градиентных трансверсально-изотропных полуслоев .....	30
<i>Бондаренко Н.С.</i> Решение задачи о действии локальной силовой нагрузки на трансверсально-изотропную пластину на базе $\{m,n\}$ -аппроксимации .....	33
<i>Бондаренко Н.С.</i> Об использовании обобщённой теории при построении фундаментальных решений задач статики ортотропных пластин .....	36
<i>Гольцев А.С.</i> Компьютерная модель температурного поля в ортотропной пластине при сосредоточенном температурном воздействии, приводящим к изгибу ....	38
<i>Калоев С.А., Глушанков Е.С., Полянский М.А.</i> Вязкоупругое состояние пьезопластинки с отверстиями и трещинами .....	41
<i>Калоев С.А., Мироненко А.Б., Сероштанов А.В.</i> Решение задачи об электромагнитоупругом изгибе тонкой плиты с отверстиями .....	44
<i>Мирончук А.И.</i> Об обобщенной перерезывающей силе .....	48
<i>Моисеенко И.А., Моисеенко В.А., Иванов А.О.</i> Сравнительный анализ характеристик нормальных упругих волн для двух моделей неоднородных полых цилиндрических волноводов .....	50
<i>Нескородев Р.Н.</i> Ползучесть анизотропного массива горных пород с несколькими горизонтальными выработками .....	54

<i>Павлыши В.Н., Сторожев С.В., Номбрэ С.Б.</i> Нечетко-множественное оценивание параметров энергетических потоков для волн сдвига в составном волноводе из изотропного и ортотропного полуслоев .....	57
--	----

<i>Павлыши В.Н., Сторожев С.В.</i> Сопоставление результатов применения неидемпотентной арифметики и арифметики двухкомпонентных нечетких треугольных чисел для учета неопределенности в модели устойчивости тонких сферических оболочек .....	60
--	----

<i>Снитко С.А., Яковченко А.В.</i> Повышения точности прогноза напряженно-деформированного состояния дисков железнодорожных колес .....	64
---	----

### ***Информационно-документационное обеспечение управления***

<i>Балдынюк А.И.</i> Инновации в управлении инновационно-активным предприятием	67
--	----

<i>Биба Е.В.</i> Информационные технологии управления товарным рынком .....	70
---	----

<i>Гайдарь Е.В.</i> Формирование системы методических подходов к комплексной оценке финансового потенциала предприятия .....	73
--	----

<i>Коробейникова К.В.</i> К проблеме внедрения стандартов управления документацией в Донецкой Народной Республике и Российской Федерации .....	76
--	----

<i>Курдюмова И.А.</i> Особенности формирования понятийного аппарата цифрового документооборота .....	79
--	----

<i>Мащенко Н.Е.</i> Обращения граждан как инструмент коммуникаций в работе органов государственной власти .....	82
---	----

<i>Митрохина Е.А.</i> Выбор стратегии информационно-организационного дизайна на основании критерия информационной эффективности .....	85
---	----

<i>Нестирный В.Н., Басов И.Г., Шеремет Н.Н.</i> Реализация установления соответствий при версионировании статистических справочников и классификаторов .....	88
--	----

<i>Пономаренко Н.Ш., Малыгина В.Д.</i> Проблемы и перспективы развития продовольственного комплекса Донецкой Народной Республики .....	92
--	----

<i>Семянкова О.И., Фионова Л.Р.</i> Государственный язык в работе с обращениями граждан (на примере Российской Федерации и Донецкой Народной Республики) .....	95
--	----

<i>Филатова Я.В., Харакиоз А.В.</i> Использование интеллект-карт в профессиональной деятельности специалиста по управлению документацией организации .....	98
--	----

<i>Фионова Л.Р., Семянкова О.И.</i> Применение активных методов обучения при подготовке современных документоведов .....	101
--	-----

### ***Математический анализ и дифференциальные уравнения***

<i>Волчков В.В., Волчков Вит.В.</i> Продолжение функций с отрезка до решений уравнения свертки .....	104
--	-----

<i>Волчкова Н.П., Волчков Вит.В.</i> Разложение обобщенно-периодических векторных полей на гиперболическом пространстве .....	106
---	-----

<i>Заставный В.П., Манов А.Д.</i> Об одном свойстве аддитивных функций (гомоморфизмов групп) .....	109
--	-----

<i>Иванов А.Ю., Мельник А.-В.В.</i> Алгоритмы конструирования магических квадратов ....	112
---	-----

<i>Клово А.Г., Илюхин А.А., Куповных Г.В.</i> Применение функций ОТС в спектральных задачах с дополнительными условиями .....	114
<i>Кожухов И.Б., Колесникова К.А.</i> Некоторые условия конечности в полигонах над полугруппами .....	117
<i>Лиманский Д.В.</i> О подчиненности минимальных дифференциальных полиномов от двух переменных в анизотропных пространствах Соболева .....	120
<i>Машаров П.А.</i> О функциях с нулевыми поверхностными интегралами по равносторонним треугольникам .....	121
<i>Павлов А.Л.</i> О разрешимости задачи Коши для некоторого класса уравнений соболевского типа .....	123
<i>Рудакова О.А.</i> Вариационные задачи на множествах с ограничениями различного типа и вырождениями в переменных областях .....	126

### ***Прикладная математика, прикладная информатика и теория систем управления***

<i>Авдошина Е.В., Сушко С.А.</i> Моделирование портативного устройства для улучшения памяти и концентрации внимания .....	129
<i>Авдошина Е.В., Чабак Д.А.</i> Системный анализ данных и модель принятия решений для сети мобильного оператора .....	132
<i>Алексеенко А.С., Рыбако Л.А.</i> Реализация сокрытия данных с использованием шифров RC4, RC6 и крипtosистемы на эллиптических кривых .....	135
<i>Горбачева О.И., Григорьев С.В.</i> Формирование информационной компетентности будущих учителей физической культуры при изучении информационно-коммуникационных технологий .....	138
<i>Едемская Е.Н., Бельков Д.В.</i> Мультифрактальный анализ игрового трафика .....	141
<i>Мокляк Н.Ю.</i> Определение границ однородных отделимых структур в амплитудно-временном представлении образов звуковых волн .....	143
<i>Павлишин К.А., Рыбако Л.А.</i> Построение крипtosистем на основе шифра Хилла и алгоритма RSA .....	147
<i>Шевцов Д.В., Шевцова Е.В.</i> Основные характеристики GT-объектов образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов в дискретных представлениях .....	150
<i>Шевцов Д.В., Шевцова Е.В.</i> Реализация процессов именования моделей знаков бинарных растровых цифровых изображений в дискретных представлениях ....	153
<i>Щучкин Н.А.</i> Отображения слов с помощью полиадических квазигрупп .....	156

### ***Теория вероятностей и математическая статистика***

<i>Шницар И.Н., Жмыхова Т.В.</i> Оценка выплат по договорам страхования для различных видов собственности на основе многомерного статистического анализа .....	159
<i>Шурко И.Л., Карабутова А.Г.</i> Выявление тенденций развития угледобывающей отрасли .....	161

# **ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

## ***Аналитическая химия***

<i>Аркадьева А.В., Никулина А.В.</i> Определение диастазного числа в меде методом пьезокварцевого микровзвешивания .....	165
<i>Белоусов Н.С., Верхов С.В., Кочетова Ж.Ю., Кравченко А.А.</i> Электронный нос для идентификации авиационных масел .....	166
<i>Лисицкая Р.П., Шабельский В.С.</i> Повышение селективности пьезокварцевового микровзвешивания органических токсикантов с применением фильтрования паров .....	170
<i>Минакова Т.А., Минаков Д.А., Вист В.В., Служенко И.Н.</i> Спектральный дистанционный метод определения типа грунта .....	172
<i>Мокшина Н.Я., Пахомова О.А., Нечепоренко Д.А., Соколова А.В.</i> Оптимизация условий экстракции теобромина из растительного сырья на примере иван-чая .....	174
<i>Рокун А.Н.</i> Унификация методик определения ртути с применением концентрирования из суспензий и эмульсий .....	177
<i>Тимохина В.В., Никулина А.В.</i> Применение метода пьезокварцевого микровзвешивания для оценки качества пломбира .....	178
<i>Стецик В.В., Матвиенко О.А., Цыбулько В.А.</i> Моделирование процессов раздельного определения в одном опыте компонентов смеси пероксида водорода и серной кислоты цериметрическим титрованием .....	180
<i>Черноусова О.В., Рудаков О.Б., Рудаков Я.О.</i> Цветометрическое определение цветности сахара с использованием мобильных устройств .....	182
<i>Шуба А.А., Кучменко Т.А., Умарханов Р.У., Черницкий А.Е.</i> Применение массива химических сенсоров для установления субклинического течения респираторных заболеваний у телят .....	185
<i>Щепина Н.Д., Кара А.В.</i> Сравнение метрологических характеристик цветометрического определения свинца с органическими комплексообразователями .....	188

## ***Биохимия и органическая химия***

<i>Белоусова И.А., Зубарева Т.М., Разумова Н.Г., Гайдаш Т.С., Прокопьева Т.М., Михайлов В.А.</i> Мицеллярные эффекты димерных катионных пав, функционализированных гидроксильной группой, в реакциях щелочного гидролиза .....	192
<i>Дорошкевич В.С., Баранова О.В.</i> Подбор параметра оценки эффективности межфазных катализаторов в реакции аминолиза 4-нитрофенилового эфира <i>n</i> -бензилоксикарбонил глицина .....	195
<i>Заритовский А.Н., Котенко Е.Н.</i> Микроволновый синтез композитныхnanoструктур графен / углеродные нанотрубки .....	197
<i>Ищенко А.В., Сибирцева И.А.</i> К вопросу о содержании флавоноидов в некотором растительном сырье .....	201
<i>Кравченко Е.М., Одарюк И.Д.</i> Стхиометрия взаимодействия трехатомных фенолов с катион-радикалом ABTS .....	203

<i>Синельникова М.А., Бахтин С.Г.</i> Влияние природы основания на регеоселективность раскрытия оксиранового цикла 2-(хлорметил)оксирана бензойной кислотой .....	206
<i>Туровская М.К., Прокопьева Т.М., Разумова Н.Г., Гайдаш Т.С., Михайлова В.А.</i> Мицеллярный катализ пероксигидролиза ацилсодержащих субстратов в системах на основе димерных катионных ПАВ .....	208
<i>Тюрина Т.Г., Крюк Т.В., Кудрявцева Т.А., Попова О.С.</i> Влияние органических кислот на параметры набухания пленок на основе кукурузного крахмала и карбоксиметилцеллюзы .....	211
<i>Харанеко А.О., Харанеко О.И.</i> Синтез и функционализация новой гетероциклической системы 7-метил-1-фенил-5,7-дигидро[1,2]диазепино [5,4- <i>b</i> ]карбазол-4(3 <i>h</i> )-она .....	214
<i>Харанеко А.О., Харанеко О.И.</i> Два подхода к синтезу аналогов природного алкалоида эллиптицина .....	217
<i>Хилько С.Л., Котенко А.А.</i> Тензиометрические свойства смесей дикатионного пав и $\beta$ -лактоглобулина .....	220
<i>Хилько С.Л., Макарова Р.А., Семенова Р.Г., Невечеря О.И.</i> Механохимическое этоксилирование бензойной и хлорбензойной кислот .....	222
<i>Хилько С.Л., Шелест В.С.</i> Дилатационные реологические характеристики растворов солей аминогуминовых кислот .....	225

### **Неорганическая химия**

<i>Игнатов А.В., Жегайло А.О., Михайленко Ю.С.</i> Гадолиний-содержащие твердые растворы на основе структуры лакунарного апатита .....	228
<i>Мороз Я.А., Лозинский Н.С.</i> Современные тенденции в исследовании свойств и применении полиоксометаллатов .....	230
<i>Прудченко А.П., Савосъкин М.В., Полякова О.Ю., Протасевич Ю.С.</i> Хлорид натрия, как носитель металлоксидных катализаторов для темплатного синтеза углеродных нанотрубок .....	233
<i>Рипная М.М., Сердюк А.И.</i> О механизме воздействия пав на электрохимическое извлечение свинца из отработанных свинцовых аккумуляторов .....	236
<i>Сидун М.С., Скорик М.В., Жегайло А.О.</i> Применение комплексных удобрений на основе гидроксиапатита кальция с целью стимуляции роста лекарственных растений (фиалки трёхцветной) .....	239
<i>Ткаченко Д.В., Яблочкова Н.В.</i> Синтез и изучение электрофизических свойств твердых растворов на основе лакунарного апатита свинца, модифицированного кальцием и лантаном .....	241
<i>Хрипунов С.В., Прудченко А.П., Савосъкин М.В., Протасевич Ю.С., Полякова О.Ю.</i> Окислительная функционализацияnanoуглерода .....	242
<i>Чебышев К.А., Турченко В.А., Пасечник Л.В., Селикова Н.И.</i> Исследование кристаллической структуры молибдата неодима методом высокотемпературной дифракции нейтронов .....	245
<i>Шампатей О.О., Сердюк А.И.</i> Закономерности переработки шлама отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов .....	247

## **Физическая химия**

<i>Афанасьев В.В., Шавшина А.Н., Заговора Н.В.</i> И зучение влияния меднения железного порошка на физико-механические свойства электроскользящих контактов .....	250
<i>Безбожная Т.В., Любимова А.К., Лобачев В.Л.</i> Окисление тиофена пероксикислотами в системе <i>n</i> -октан–вода .....	253
<i>Белая Н.И., Белый А.В., Тихонова Г.А.</i> Синергическое антирадикальное действие бинарных композиций моно- и дисахаридов с кофейной кислотой .....	255
<i>Дорохов А.В., Брыксина В.А., Курьято Н.А.</i> Защита макрогальванической пары медь/латунь от атмосферной коррозии летучим ингибитором коррозии ИФХАН-116 .....	257
<i>Дорохов А.В., Жерновников Д.Н., Курьято Н.А., Брыксина В.А.</i> Защитная эффективность летучего ингибитора коррозии ИФХАН-116 по отношению к макрогальванической паре сталь/латунь от атмосферной коррозии .....	260
<i>Кравченко В.В., Алемасова Н.В., Зозуля М.А., Савостькин М.В.</i> Очистка вод ликвидированных шахт от ионов железа и марганца активированным антрацитом .....	263
<i>Леньшин А.С., Черноусова О.В.</i> Исследование состава поверхности полученного действием «простейших» методик постобработки пористого кремния .....	266
<i>Лихачев Е.Р., Засимский Д.А.</i> Моделирование температурной зависимости вязкости газов .....	269
<i>Лыга Р.И., Михальчук В.М., Могила Т.Н., Линник Д.С., Куриленко Д.Т.</i> Влияние кремнезема на устойчивость эпоксидных композитов к термо-окислительной деградации .....	272
<i>Могила Т.Н., Михальчук В.М., Лыга Р.И., Линник Д.С., Полищук Т.Б.</i> Свойства эпоксидно-аминных полимеров, модифицированных наночастицами оксидов циркония и кремния .....	274
<i>Одарюк В.В., Ракша Е.В., Савостькин М.В.</i> Кинетика разложения мурексида в присутствии суспензии соинтеркалата нитрата графита с бутилацетатом .....	276
<i>Осипов А. М., Грищук С. В.</i> Прямое оживление бурого и длиннопламенного углей в присутствии гетерогенных катализаторов .....	278
<i>Савзаева Ш.Х., Назаров Ш.Б., Азимов Д.С.</i> Физико-химические основы переработки алюнилового сырья токмакского месторождения методом спекания с хлоридом кальция .....	282
<i>Шевкопляс В.Н., Бутузов Г.Н.</i> Влияние химической активации на структуру бурого угля и его поведение при пиролизе .....	284

*НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ*

**ДОНЕЦКИЕ ЧТЕНИЯ 2021:  
ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА, ИННОВАЦИИ,  
КУЛЬТУРА И ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОСТИ**

Материалы  
VI Международной научной конференции  
26–27 октября 2021 г.,  
г. Донецк

**ТОМ 1**  
**Механико-математические, компьютерные  
и химические науки, управление**

под общей редакцией проф. *С.В. Беспаловой*

Ответственный за выпуск проф. *В.И. Сторожев*

Дизайн обложки                           *Е.Г. Грудева*  
Технический редактор                   *М.В. Фоменко*  
Компьютерная верстка                 *М.В. Фоменко, Н.Д. Щепина,*  
  *Н.Н. Щепин*

---

*Адрес оргкомитета:*  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»  
ул. Университетская, 24, г. Донецк, 83001, ДНР.  
E-mail: *science.prorector@donnu.ru*

---

Подписано в печать 08.10.2021 г.  
Формат 60×84/16. Бумага офисная.  
Печать – цифровая. Усл.-печ. л. 17,1.  
Тираж 100 экз. Заказ № 21окт15/1.  
Донецкий национальный университет  
83001, г. Донецк, ул. Университетская, 24.  
Свидетельство о внесении субъекта  
издательской деятельности в Государственный реестр  
серия ДК № 1854 от 24.06.2004 г.