



МАТЕРИАЛЫ  
VIII Международной научной конференции

## ДОНЕЦКИЕ ЧТЕНИЯ 2023:

образование, наука, инновации, культура  
и вызовы современности



Том 1

Механико-математические, компьютерные  
и химические науки, управление



## Уважаемые коллеги! Дорогие друзья!

От имени ректората, Ученого совета Донецкого государственного университета, всего академического сообщества Донецкой Народной Республики приветствую всех друзей из различных регионов Российской Федерации, принимающих участие в традиционной, теперь уже VIII Международной научной конференции. **«Донецкие чтения 2023: наука, образование, инновации, культура и вызовы современности».**

Минуло восемь лет с тех пор, как в нашем университете прошла **первая конференция**, которая за последующие годы приобрела широкую известность, стала авторитетным научным собранием, привлекла внимание большого числа отечественных ученых, а также государств СНГ и других зарубежных стран. Расширился спектр рассматриваемых научных направлений и вовлеченность в научные дискуссии известных ученых и специалистов-практиков, возрастают актуальность и практическая значимость представляемых научных результатов.

«Донецкие чтения» приобретают в период десятилетия Науки и технологий особую актуальность.

В 2018-2019 годах конференция **«Донецкие чтения»** проводилась как составная часть Международных форумов **«Русский мир и Донбасс: от сотрудничества к интеграции образования, науки, инноваций и культуры».**

Эти форумы стали судьбоносными событиями в социально-экономической, общественно-политической, научно-образовательных сферах жизни Донецкой Народной Республики; способствовали достижению поставленной нами цели – вхождения в состав Российской Федерации, возвращение на свою историческую Родину.

Если по итогам первой конференции труды с материалами докладов включали **восемь томов**, то в прошлом году, несмотря на непростые условия работы, масштабы представленных исследований на конференцию возросли **более чем в два раза**.

Сегодня Международную многопрофильную научную конференцию «Донецкие чтения» мы проводим уже **второй раз в составе Российской Федерации**.

На Конференции будут представлены **1910 научных докладов в четырнадцати профильных секциях**. Будут также работать **восемьдесят одна подсекция и пятнадцать круглых столов**.

Труды конференции сейчас доступны в электронной форме, составляют **десять томов в семнадцати книгах** общим объемом **почти 6000 страниц** и будут размещены в наукометрической базе РИНЦ.

Донецкие чтения вносят достойный вклад в решение задач **Десятилетия науки и технологий**, объявленного Президентом России Владимиром Владимировичем Путиным с 2022-2031 годы.

В ходе конференции приглашаю вас к обстоятельному разговору о способах и механизмах скорейшего внедрения новых, прорывных научных разработок, с тем, чтобы наши достижения способствовали укреплению суверенитета и безопасности Донецкой Народной Республики, нашей страны, росту качества жизни россиян.

Практика проведения наших конференций активно и заинтересованно поддерживается органами власти Донецкой Народной Республики, Министерством образования и науки ДНР, Русским Центром, а также участием в ней целого ряда ученых с мировым именем!

Желаю успехов всем участникам конференции, а всем нам – новых научных достижений во благо России!

**С наилучшими пожеланиями, ректор Донецкого государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор  
Светлана Беспалова**

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Донецкий государственный университет»

## VIII Международная научная конференция

Материалы  
конференции

**Том 1**

МЕХАНИКО-  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ  
КОМПЬЮТЕРНЫЕ  
И ХИМИЧЕСКИЕ  
НАУКИ,  
УПРАВЛЕНИЕ

# **Донецкие чтения 2023: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности**

г. Донецк  
25–27 октября 2023 г.

Донецк  
Издательство ДонГУ  
2023

ББК В1я431+В2я431+397я431+Г.я431

УДК 51+53+004+54(043.2)

Д672

*Редакционная коллегия:*

С.В. Беспалова (гл. ред.), А.В. Белый (зам. гл. ред),  
М.В. Фоменко (отв. секр.), И.А. Моисеенко, В.И. Сторожев,  
Вит.В. Волчков, А.С. Гольцев, Н.Ш. Пономаренко, Д.В. Шевцов,  
Н.Н. Щепин (отв. секр. секции), С.Г. Бахтин, А.С. Алемасова,  
В.М. Михальчук, О.В. Баранова, Н.В. Яблочкова,  
Н.Д. Щепина (отв. секр. секции),

**Д672 Донецкие чтения 2023: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности:** Материалы VIII Международной научной конференции (Донецк, 25–27 октября 2023 г.). – *Том 1: Механико-математические, компьютерные и химические науки, управление* / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонГУ, 2023. – 374 с.

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

В первый том материалов VIII Международной научной конференции «Донецкие чтения 2023: 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, прикладной математики и информатики, теории систем управления и информационно-документационного обеспечения управления. В области химических наук рассматриваются вопросы аналитической химии, биохимии, органической, неорганической и физической химии

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

ББК В1я431+В2я431+397я431+Г.я431

УДК 51+53+004+54(043.2)

© Коллектив авторов, 2023

© Донецкий государственный университет, 2023



## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

### ***Председатель:***

*Беспалова С.В.*, д-р физ.-мат. наук, профессор, ректор Донецкого государственного 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:***

*Андреев Д.А.*, д-р ист. наук, доцент, заместитель декана по научной работе исторического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

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

*Белый А.В.*, канд. хим. наук, доцент, проректор Донецкого государственного 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).

*Вартанова Е.Л.*, д-р филол. наук, академик РАО, декан факультета журналистики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

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

*Глухов А.З.*, д-р биол. наук, главный научный сотрудник Донецкого ботанического сада, профессор кафедры ботаники и экологии Донецкого государственного университета (г. Донецк).

*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).

*Зинченко Ю.П.*, д-р психол. наук, профессор, академик РАО, декан факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

*Кирпичников М.П.*, д-р биол. наук, профессор, академик РАН, декан биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

*Кишкань 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).

*Лингарт А.А.*, д-р филол. наук, профессор, декан филологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

*Лубков А.В.*, д-р ист. наук, профессор, академик РАО, ректор Московского педагогического государственного университета (г. Москва).

*Некипелов А.Д.*, д-р экон. наук, профессор, академик РАН, директор Московской школы экономики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

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

*Осмоловский А.А.*, канд. биол. наук, доцент, заместитель декана по академической политике и развитию интернационализации биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

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

*Половян А.В.*, д-р экон. наук, доцент, директор ГБУ «Институт экономических исследований» (г. Донецк).

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

*Разумова Т.О.*, д-р экон. наук, профессор, зав. кафедрой экономики труда и персонала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

*Решидова И.Ю.*, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., 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).

*Сидорова М.Ю.*, д-р филол. наук, профессор, профессор кафедры русского языка Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

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

*Соколов И.А.*, д-р техн. наук, профессор, академик РАН, декан факультета вфчислительной математики и кибернетики, зав. кафедрой информационной безопасности Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва)

*Судаков С.Н.*, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., и.о. директора ФГБНУ «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 имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

# МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

## *Механика твердого тела*

УДК 531.38

### О НОВОМ ЧАСТНОМ РЕШЕНИИ КЛАССА С.А.ЧАПЛЫГИНА В ЗАДАЧЕ О ДВИЖЕНИИ ГИРОСТАТА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

*Зыза А.В.*, д-р физ.-мат. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*o.ziza@donnu.ru*

**Введение.** Математическое моделирование сложных механических систем, деформациями которых можно пренебречь (роботы, манипуляторы, гироскопические и спутниковые конструкции), базируется на основных результатах аналитической механики (динамических и кинематических характеристиках, законах и теоремах данной области науки). К настоящему времени получены значительные обобщения классической задачи о движении твердого тела под действием силы тяжести, основы которой заложены в работах Л. Эйлера, Ж. Даламбера, К. Якоби, Ж. Лагранжа, С.В. Ковалевской, А.М. Ляпунова, Г. Кирхгофа, В. Гесса, О. Штауде, Б.К. Млодзеевского, П.А. Некрасов и других ученых. Наиболее известными задачами являются: задача о движении твердого тела в жидкости (Г. Кирхгоф, Н.Е. Жуковский, С.А. Чаплыгин, В.А. Стеклов, В.В. Румянцев, В.И. Рубановский и др.), задача о движении гиростата в полях сложной структуры (задача о движении гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил, и задача о движении гиростата в магнитном поле с учетом эффекта Барнетта-Лондона), задача о движении твердых тел по различного вида поверхностям с учетом неголономности связей [1-3].

Большое значение имеют математические методы исследования задач аналитической механики. Поскольку уравнение движения гиростата, как правило, неинтегрируемо в квадратурах по Якоби и Лиувиллю, то при математическом моделировании в задачах механики важно не только получить модели в виде систем дифференциальных уравнений, но и установить наиболее важные для практики программные движения механических систем.

В динамике гиростата развито достаточно направление, посвященное построению частных решений уравнений динамики твердого тела. Данное утверждение обосновывается тем, что в общем случае уравнение динамики твердого тела и гиростата неинтегрируемо в квадратурах. Новые решения динамики твердого тела и гиростата не только позволяют применять

геометрические методы исследования движения, но и приносят дополнительную информацию об интегральных многообразиях.

В докладе рассматривается актуальная задача о нахождении частного решения полиномиального класса С.А. Чаплыгина уравнений движения гиростата в магнитном поле с учетом Барнетта-Лондона. Этот эффект состоит в том, что при быстром вращении нейтральный ферромагнетик становится намагниченным вдоль оси вращения, а это приводит к прецессии вектора кинетического момента гиростата. Сложность задачи заключается еще и в том, что в этом случае существует только два первых интеграла уравнений движения [1].

В результате исследования построено новое решение рассматриваемого полиномиального класса, которое описывается гиперэллиптическими функциями времени.

**Цель исследования** – нахождение условий существования частных решений полиномиального класса С.А. Чаплыгина в задаче о движении гиростата в магнитном поле с учетом эффекта Барнетта-Лондона и их построение в замкнутом виде.

Для такого вида исследований использовались: метод инвариантных соотношений и полуобратный метод решения задач аналитической механики.

**Основная часть.** Дифференциальные уравнения задачи о движении гиростата в магнитном поле с учетом эффекта Барнетта-Лондона в векторном виде таковы [1]:

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

Эти уравнения допускают два первых интеграла:

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

В (1), (2) обозначено:  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)$  – угловая скорость гиростата;  $v = (v_1, v_2, v_3)$  – орт оси симметрии силового поля;  $\lambda = (\lambda_1, 0, 0)$  – гиростатический момент;  $s = (s_1, 0, 0)$  – вектор обобщенного центра масс;  $A = \text{diag}(A_1, A_2, A_3)$  – тензор инерции гиростата в неподвижной точке;  $B = \text{diag}(B_1, B_2, B_3)$  – матрица, характеризующая магнитный момент гиростата;  $C = \text{diag}(C_1, C_2, C_3)$  – тензор инерции, который характеризует ньютоновское притяжение гиростата неподвижным центром;  $k_0$  – постоянная интеграла площадей. В докладе, следуя, например [4], рассматривается условия существования у уравнений (1) частных решений полиномиальной структуры вида:

$$\omega_1 = \delta^3, \quad \omega_2^2 = Q(\delta) = \sum_{k=0}^n b_k \delta^k, \quad \omega_3^2 = R(\delta) = \sum_{i=0}^m c_i \delta^i,$$

$$v_1 = \sum_{j=0}^l a_j \delta^j, \quad v_2 = \frac{\varphi(\delta)}{\delta} \sqrt{Q(\delta)}, \quad v_3 = \frac{\chi(\delta)}{\delta} \sqrt{R(\delta)},$$

$$\varphi(\delta) = \sum_{i=0}^{n_1} g_i \delta^i, \quad \chi(\delta) = \sum_{j=0}^{m_1} f_j \delta^j \quad (3)$$

В соотношениях (3)  $b_k, c_i, a_j, g_i, f_j$  – коэффициенты полиномов, подлежащие определению,  $n, m, l, n_1, m_1$  – целые неотрицательные числа.

Указанным классом решений (3) в классической задаче динамики твердого тела описывается решение С.А. Чаплыгина [2].

Найдены условия существования у уравнений (1) решения вида (3). Не выписывая значения коэффициентов полиномов из (3) и параметров, рассматриваемой задачи, укажем это решение:

$$\omega_1 = \delta^3, \quad \omega_2^2 = Q(\delta) = b_4 \delta^4 + b_3 \delta^3 + b_2 \delta^2 + b_1 \delta + b_0,$$

$$\omega_3^2 = R(\delta) = c_4 \delta^4 + c_3 \delta^3 + c_2 \delta^2 + c_1 \delta + c_0,$$

$$v_1 = a_2 \delta^2 + a_1 \delta + a_0, \quad v_2 = (g_2 \delta + g_1) \omega_2,$$

$$v_3 = (f_2 \delta + f_1) \omega_3, \quad \dot{\delta} = \mu_0 \sqrt{Q(\delta) R(\delta)} \quad (4)$$

Построенное решение содержит два положительных свободных параметра и описывается функциями, полученными обращением гиперэллиптического интеграла, вытекающего из дифференциального уравнения в (4).

**Заключение.** Указанное в докладе частное решение полиномиального класса С.А. Чаплыгина дифференциальных уравнений задачи о движении гиростата в магнитном поле с учетом эффекта Барнетта-Лондона является новым решением, которое не имеет аналогов в классической задаче динамики твердого тела и в задаче о движении тяжелого гиростата.

#### Список литературы

1. Горр Г.В. Динамика гиростата, имеющего неподвижную точку: моногр. / Г.В. Горр, А.В. Мазнев; М-во обр. и науки Украины, Донецк. нац. ун-т. – Донецк: ДонНУ, 2010. – 364с. – ISBN 978-966-639-431-9.
2. Гашененко И.Н. Классические задачи динамики твердого тела: моногр./ И.Н.Гашененко, Г.В.Горр, А.М.Ковалев. – Киев: Наук.думка, 2012. – 401 с. – ISBN 978-966-00-1307-0.
3. Горр Г.В. Движение гиростата: моногр. / Г.В. Горр, А.М. Ковалев. – Киев: Наук. думка, 2013. – 408 с. – ISBN 978-966-00-1406-0.
4. Зыза А.В. Новые классы частных решений одной задачи о движении гиростата / А.В. Зыза, Т.В. Хомяк, Е.С. Платонова // Вестник Удмуртского университета. Сер. Математика, механика, компьютерные науки. – 2022. – Т. 32, вып. 2. – С. 298-318. – DOI:10.35634/vm220209.

## КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ 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

ФГБНУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, РФ  
*konos.donetsk@yandex.ru*

В теории фазовых систем обыкновенных дифференциальных уравнений (то есть систем с угловыми переменными) важное место занимает дифференциальное уравнение второго порядка, которое описывает упрощенную модель синхронного электромотора, не содержащую явно электрических токов [1]. Путем введения безразмерных параметров  $a, c > 0$  и безразмерного времени  $\tau$  это уравнение приводится к следующему виду

$$\theta'' = -a\theta' - \sin \theta + c. \quad (1)$$

Здесь  $\theta$  – угол рассогласования между равномерно вращающимся магнитным полем статора и магнитным полем ротора, штрих означает дифференцирование по  $\tau$ .

Уравнение (1) играет ключевую роль в разработанном Г.А. Леоновым методе сведения [1], который дает условия, когда из глобальной асимптотической устойчивости одного такого уравнения следует глобальная асимптотическая устойчивость многомерной фазовой системы (то есть любое ее решение с течением времени стремится к одному из стационарных состояний). Так, в [2] с использованием такого уравнения в рамках метода сведения получено легко проверяемое достаточное условие глобальной устойчивости модели синхронного электромотора, которая при нелинейном моменте демпфирования описывается системой дифференциальных уравнений, включающей уравнения для электрических токов.

При  $c \in (0,1)$  уравнение (1) имеет два счетных семейства стационарных решений при значениях  $\theta_n^{(0)}, \theta_n^{(1)}$  угла  $\theta$ , равных

$$\theta_n^{(0)} = \theta_0 + 2\pi n, \quad \theta_n^{(1)} = \theta_1 + 2\pi n \quad (n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots).$$

Здесь

$$\theta_0 = \arcsin c \in \left(0, \frac{\pi}{2}\right), \quad \theta_1 = -\pi - \theta_0 \in \left(-\frac{3\pi}{2}, -\pi\right). \quad (2)$$

Локальный анализ по линейному приближению показывает, что решениям первого семейства соответствуют асимптотически устойчивые стационарные точки уравнения (1) – устойчивый фокус или устойчивый узел, а решениям второго семейства соответствуют неустойчивые седловые стационарные точки.



Ф. Трикоми установил [3], что для коэффициента линейного демпфирования  $a$ , входящего в уравнение (1), существует критическое значение  $a_{cr}(c)$ , которое отделяет случай, когда для данного уравнения имеет место глобальная устойчивость, от двух случаев, когда глобальной устойчивости нет. Для каждого из этих случаев Ф. Трикоми указал структуру фазового портрета рассматриваемого уравнения.

Так как  $c = \sin \theta_0$  согласно (2), величина  $a_{cr}(c)$  может рассматриваться как функция  $a_{cr}(\theta_0)$  угла  $\theta_0 \in (0, \pi/2)$ . При заданном значении  $\theta_0$  величина  $a_{cr}(\theta_0)$  определяется условием, что сепаратрисы, направленные навстречу одна другой из соседних седловых точек  $(\theta_1, 0)$ ,  $(\theta_1 + 2\pi, 0)$ , сливаются в одну гомоклиническую фазовую траекторию. Отсюда следует, что для критического значения не существует явного выражения. Поэтому усилия многих математиков были направлены на получение аналитических оценок критического значения сверху и снизу [4].

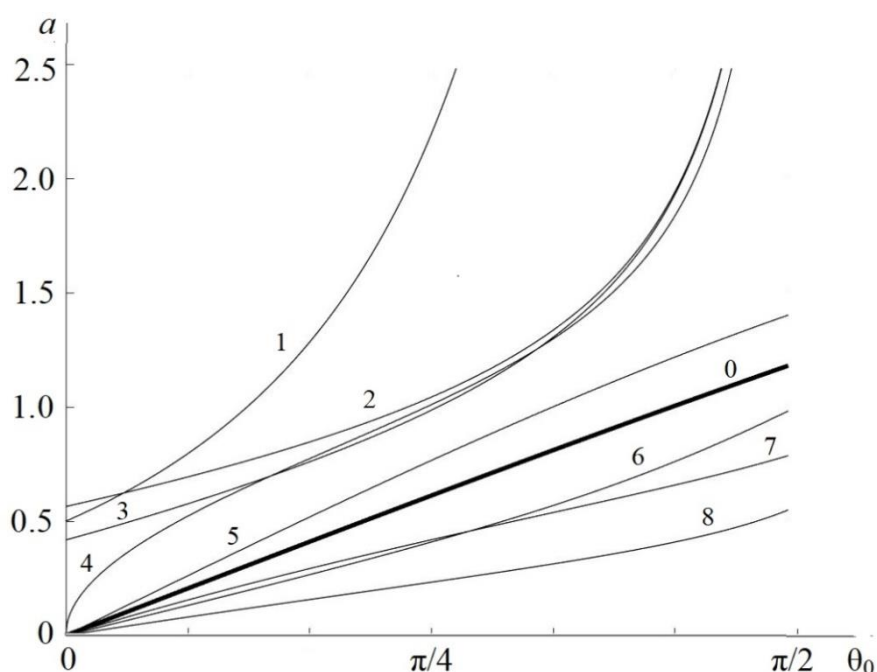


Рис. 1. График вычисленной зависимости  $a_{cr}(\theta_0)$  (кривая 0) и графики правых частей ее теоретических оценок

На рис. 1 утолщенной линией показан график функции 0)  $a_{cr}(\theta_0)$ , полученный путем расчетов на компьютере. Выше этой расчетной кривой лежат графики правых частей верхних теоретических оценок этой функции найденных 1) Л. Америо, 2) Ф. Трикоми, 3) В. Табуевой, 4) Г. Зайфертом, 5) К. Бёмом. Ниже расчетной кривой лежат графики правых частей нижних оценок, полученные 6) К. Бёмом, 7) В. Хейзом, 8) Ф. Трикоми (см. [4]).

Рис. 1 показывает, что вычисленная кривая близка к прямой, соединяющей концы ее графика, и лежит над этой прямой. Это позволяет

предложить для функции  $a_{cr}(\theta_0)$  линейную ( $L$ ) и синусоидальную ( $S$ ) аппроксимации

$$a_{cr L}(\theta_0) = K\theta_0, \quad a_{cr S}(\theta_0) = A(\Omega) \sin(\Omega \theta_0) \quad (\Omega > 0). \quad (3)$$

Для вычисления коэффициентов  $K$  и  $A(\Omega)$  используется условие совпадения этих аппроксимаций с вычисленным критическим значением на правом конце рассматриваемого интервала для  $\theta_0$ . Оно позволяет однозначно определить значение  $K_L$  коэффициента  $K$ . Такое условие позволяет также определить коэффициент  $A(\Omega)$  при каждом значении параметра  $\Omega$ . Для однозначного определения значения  $\Omega_S$  параметра  $\Omega$  достаточно потребовать, чтобы максимум по  $\theta_0$  модуля абсолютной погрешности  $S$ -аппроксимации достигал при  $\Omega = \Omega_S$  своего наименьшего значения.

В таблице 1 приведены полученные путем расчетов значения параметров  $K_L$ ,  $\Omega_S$ ,  $A_S = A(\Omega_S)$  для аппроксимаций (3), значения наибольших абсолютных  $\delta_L$ ,  $\delta_S$  и относительных  $\Delta_L$ ,  $\Delta_S$  погрешностей этих

Таблица 1

Характеристики  $L$  и  $S$  аппроксимаций критических значений

	$K_L$	–	$\delta_L$	$\theta_{0L}$	$\theta_{0L}^\circ$	$\Delta_L$	$\Theta_{0L}$
	$A_S$	$\Omega_S$	$\delta_S$	$\theta_{0S}$	$\theta_{0S}^\circ$	$\Delta_S$	$\Theta_{0S}$
$L$	0.760087	–	0.0149876	0.894376	51.2440	0.0322269	0
$S$	2.76621	0.283886	$3.33626 \cdot 10^{-5}$	0.9267	53.10	$1.35227 \cdot 10^{-4}$	0

аппроксимаций, а также значения  $\theta_{0L}$ ,  $\theta_{0S}$  и  $\Theta_{0L}$ ,  $\Theta_{0S}$  угла  $\theta_0$ , при которых достигаются такие погрешности. Приведенные результаты показывают, что предложенные линейная и синусоидальная аппроксимации критических значений с достаточно высокой точностью обеспечивают вычисление этих значений для уравнения (1).

### Список литературы

1. *Леонов Г.А.* Фазовая синхронизация. Теория и приложения // Автоматика и телемеханика. – 2006. – Т. 10. – С.47-85.
2. *Коносевиц Б.И., Коносевиц Ю.Б.* Достаточное условие глобальной устойчивости модели синхронного электромотора при нелинейном моменте нагрузки // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. – 2018. – Т. 5 (63), вып. 1. – С. 74-85.
3. *Tricomi F.* Integrazione di unequazione differenziale presentasi in electrotechnica // Annali della Roma Scuola Normale Superiore de Pisa. – 1933 – V. 2, no. 2. – P. 1–20.
4. *Барбашин Е.А., Табуева В.А.* Динамические системы с цилиндрическим фазовым пространством. – М.: Наука, 1969. – 300 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЙ ГЛАВНОЙ ОСИ ЭЛЛИПСОИДА ИНЕРЦИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА В РЕШЕНИИ А.И. ДОКШЕВИЧА

*Мазнев А.В.*<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук, доц., *Белоконь Т.В.*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ,

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий национальный университет экономики и торговли  
имени Михаила Туган-Барановского», г. Донецк, РФ,  
*o.mazniev@donnu.ru, b.tatyana13@mail.ru*

**Введение.** Прецессионные движения тела, имеющего неподвижную точку, играют большую роль в динамике твердого тела, поскольку они (например, регулярные прецессии) находят применение в теории гироскопических систем и характеризуются наглядным свойством. Представляет интерес решение А.И. Докшевича [1], так как для него выполняется свойство постоянности произведения скоростей прецессии и собственного вращения и твердое тело имеет распределение масс, эквивалентное распределению масс гироскопа Гесса. Решение А.И. Докшевича методом Пуансо исследовал Г.В. Горр [2]. Он доказал, что движение в этом случае является периодическим. В динамике твердого тела для получения более общих свойств в кинематическом истолковании движения твердого тела, имеющего неподвижную точку, применяется метод исследования главных осей тела в пространстве.

**Цель исследования** - исследовать поведение второй главной оси эллипсоида инерции в неподвижном пространстве в решении А.И. Докшевича.

**Основная часть.** Решение А.И. Докшевича [1] установлено для уравнений Эйлера-Пуассона

$$A\dot{\boldsymbol{\omega}} = A\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{\omega} + s(\mathbf{e} \times \mathbf{v}), \quad \dot{\mathbf{v}} = \mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}, \quad (1)$$

где  $\boldsymbol{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)$  – вектор угловой скорости;  $\mathbf{v} = (v_1, v_2, v_3)$  – единичный вектор, характеризующий направление силы тяжести  $\mathbf{P} = mg\mathbf{v}$  ( $m$  – масса тела,  $g$  – ускорение свободного падения);  $A = (A_{ij})$  – тензор инерции тела в неподвижной точке  $O$ ;  $\mathbf{e} = (e_1, e_2, e_3)$  – единичный вектор  $\mathbf{e} = \frac{\mathbf{r}_C}{|\mathbf{r}_C|}$  ( $\mathbf{r}_C = \overline{OC}$ ,  $C$  – центр тяжести тела);  $s = mg|\mathbf{r}_C|$  – постоянный параметр; точка над переменными  $\boldsymbol{\omega}(t), \mathbf{v}(t)$  показывает производную по времени  $t$ .

Движение тела называют прецессией относительно вектора  $\mathbf{v}$  [3], если в течении всего времени движения постоянен угол  $\theta_0$  между векторами  $\mathbf{a}$  и  $\mathbf{v}$ , где  $\mathbf{a}$  – единичный вектор, неизменно связанный с телом. Данное движение описывается инвариантными соотношениями [4]

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{v} = a_0, \quad \boldsymbol{\omega} = \varphi \mathbf{a} + \psi \mathbf{v}, \quad (2)$$

где  $a_0 = \cos\theta_0$ . Решение [1] характеризуется свойством постоянства произведения скоростей собственного вращения и прецессии из (2)

$$\dot{\varphi}\dot{\psi} = \beta, \quad (\beta = \text{const.}). \quad (3)$$

Запишем решение А.И. Докшевича в форме, предложенной Г.В. Горром [4]. Вначале укажем условия на параметры распределения и значение угла нутации

$$A_{12} = A_{23} = 0, \quad 4A_{13}^4 + A_{13}^2(A_{11} - A_{22})(A_{11} + 3A_{22} - 4A_{33}) - \quad (4)$$

$$-A_{11}A_{33}(A_{11} - A_{22}) = 0,$$

$$e_2 = 0, \quad \text{ctg}^2\theta_0 = \frac{A_{22}A_{13}^2}{A_{33}[A_{13}^2 - A_{33}(A_{11} - A_{22})]}. \quad (5)$$

Затем запишем решение [1]

$$\omega_1 = a'_0\dot{\psi}\sin\varphi, \quad \omega_2 = a'_0\dot{\psi}\cos\varphi, \quad \omega_3 = \dot{\varphi} + a_0\dot{\psi}, \quad (7)$$

$$v_1 = a'_0\sin\varphi, \quad v_2 = a'_0\cos\varphi, \quad v_3 = a_0. \quad (8)$$

где  $a'_0 = \sqrt{1 - a_0^2}$ , а функции  $\varphi, \psi$  таковы

$$\dot{\varphi} = \sqrt{\beta_1 + \beta_2\sin\varphi}, \quad \dot{\psi} = \frac{\beta}{\dot{\varphi}}, \quad (9)$$

Здесь  $\beta, \beta_1, \beta_2$  известные величины, связывающие параметры задачи.

Сведение решения А.И. Докшевича к эллиптическим функциям Якоби провел Г.В. Горр [4]. Положим, что параметры  $\beta_1, \beta_2$  удовлетворяют условию  $\beta_1 > \beta_2 > 0$ , тогда используя теорию эллиптических функций Якоби, из (7)-(9) определим

$$\varphi = 2\text{am}\mu_0 t + \frac{\pi}{2}, \quad \dot{\varphi} = 2\mu_0 \text{dn}\mu_0 t, \quad \psi = \arccos \frac{\text{cn}\mu_0 t}{\text{dn}\mu_0 t}, \quad (10)$$

$$v_1 = a'_0(1 - 2\text{sn}^2\mu_0 t), \quad v_2 = -2a'_0\text{sn}\mu_0 t\text{cn}\mu_0 t, \quad v_3 = a_0. \quad (11)$$

Параметр  $\mu_0$  имеет значение  $\frac{1}{2}\sqrt{\beta_1 + \beta_2}$ , а квадрат модуля эллиптических функций, входящих в (10), (11) таков:  $k^2 = \frac{2\beta_2}{\beta_1 + \beta_2}$ .

С помощью модифицированного метода Пуансо, предложенного Г.В. Горром, получено более простое истолкование движения гироскопа в решении А.И. Докшевича.

Пусть  $\mathbf{i}_1, \mathbf{i}_2, \mathbf{i}_3$  – единичные векторы прецессионной подвижной системы координат  $Oxyz$ ;  $\mathbf{\vartheta}_1, \mathbf{\vartheta}_2, \mathbf{\vartheta}_3$  – единичные векторы неподвижной системы координат  $O\xi\eta\zeta$ . Тогда положение подвижной системы в пространстве определяется с помощью векторных равенств

$$\mathbf{i}_1 = (\cos\varphi\cos\psi - a_0\sin\varphi\sin\psi)\mathbf{\vartheta}_1 + (\cos\varphi\sin\psi + a_0\sin\varphi\cos\psi)\mathbf{\vartheta}_2 + \quad (12)$$

$$+ a'_0\sin\varphi\mathbf{\vartheta}_3$$

$$\mathbf{i}_2 = -(\sin\varphi\cos\psi + a_0\cos\varphi\sin\psi)\mathbf{\vartheta}_1 + (a_0\cos\varphi\cos\psi - \sin\varphi\sin\psi)\mathbf{\vartheta}_2 + \quad (13)$$

$$+ a'_0\cos\varphi\mathbf{\vartheta}_3$$

$$\mathbf{i}_3 = a'_0\sin\psi\mathbf{\vartheta}_1 - a'_0\cos\psi\mathbf{\vartheta}_2 + a_0\mathbf{\vartheta}_3. \quad (14)$$

Так как движение оси, содержащей вектор  $\mathbf{a}$ , достаточно простое (угол между векторами  $\mathbf{i}_3$  и  $\mathbf{\vartheta}_3$  – постоянен, а компоненты вектора, который является проекцией вектора  $\mathbf{i}_3$  на плоскость  $O\xi\eta$ , удовлетворяют

уравнению окружности радиуса  $a'_0 > 0$ ), то в данном докладе **поставлена задача**: исследовать годограф вектора (13) в системе  $O\xi\eta\zeta$ .

Обозначим компоненты вектора (13), который направлен по главной оси эллипсоида инерции, через  $\xi(u), \eta(u), \zeta(u)$ , где  $u = \mu_0 t$ . Используя соотношения (10), из равенства (13) найдем

$$\xi(u) = \frac{\varepsilon_0^2 \operatorname{cnu}(\varepsilon_0^2 - \operatorname{cn}^2 u)}{\operatorname{dnu}}, \eta(u) = \frac{\sigma_0^2 \operatorname{snu}(h_0^2 - \operatorname{cn}^2 u)}{\operatorname{dnu}}, \zeta(u) = -2a'_0 \operatorname{snu} \operatorname{cnu}, \quad (15)$$

где введены обозначения

$$\varepsilon_0^2 = 2(1 + a_0 k_1), \varepsilon_0^2 = \frac{1 + 2a_0 k_1}{2(1 + a_0 k_1)}, \sigma_0^2 = 2(a_0 + k_1), h_0^2 = \frac{k_1}{2(a_0 + k_1)}. \quad (16)$$

Проекция годографа (13) на плоскость  $O\xi\eta$  определена параметрическими уравнениями (15) в которых  $u \in [0, 4T]$ , где  $T$  – полный эллиптический интеграл

$$T = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{dw}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 w}}. \quad (17)$$

Здесь  $k$  – модуль эллиптических функций из (15). Следовательно, кривая (15) имеет периодичный характер. Для определения порядка этой кривой исключим из (15) переменную  $u$ . Тогда получим

$$4a_0'^2 [a_0'^2 k_1^2 \xi^2 - a_0 k_1 (1 + a_0 k_1) \zeta^2] [\zeta^2 (1 + a_0 k_1) + a_0'^2 (\xi^2 - 1)] + \zeta^2 [a_0'^2 - (1 + a_0 k_1)^2 - a_0'^2 a_0'^2 k_1^2 \xi^2]^2 = 0. \quad (18)$$

Из формулы (18) следует, что изучаемая кривая описывается алгебраическим уравнением шестого порядка и она обладает свойствами симметричности относительно осей  $O\xi, O\zeta$ .

**Заключение.** В докладе рассмотрено движение главной оси эллипсоида инерции в решении А.И. Докшевича уравнений Эйлера–Пуассона. Доказано, что это движение периодическое с периодом  $4T$ , где  $T$  – полный эллиптический интеграл. Установлено, что проекция кривой, которую описывает конец вектора  $\mathbf{i}_2$  на плоскость, ортогональную главной оси инерции, является алгебраической кривой шестого порядка.

### Список литературы

1. Докшевич А.И. Решения в конечном виде уравнений Эйлера–Пуассона: моногр./ А.И. Докшевич / – Киев: Наук. думка. – 1992. – 168 с.
2. Гашененко И.Н. Классические задачи динамики твердого тела: моногр./ И.Н. Гашененко, Г.В. Горр, А.М. Ковалев. – Киев: Наук. думка, 2012. – 401 с. – ISBN 978-966-00-1307-0.
3. Grioli G. Esistenza e determinazione delle precessioni regolari dinamicamente possibili per un solido pesante asimmetrico / G. Grioli // Annali di Matematica. 1947. Ser. 4. Vol. 26, f. 3–4. P. 271–281.
4. Горр Г.В. Прецессионные движения в динамике твердого тела и динамике систем связанных твердых тел / Г.В. Горр / Прикл. математика и механика. – 2003. – 67, вып. 4. – С. 573–587.

## ОДИН СЛУЧАЙ ПРЕЦЕССИИ В ЗАДАЧЕ О ДВИЖЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИ СИММЕТРИЧНОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА С НЕПОДВИЖНОЙ ТОЧКОЙ

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

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ,

<sup>2</sup>ФГКОУ ВО «Донецкий институт государственной противопожарной службы  
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным  
ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», г. Донецк, РФ

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

**Введение.** В динамике твердого тела прецессии (по терминологии Г.Г. Архангельского – безнутационные движения) определяются как движения, при которых постоянен угол между двумя осями, одна из которых неизменно связана с телом, а другая неподвижна в пространстве. Структура правых частей дифференциальных уравнений движения гиростата в полях сложного вида позволила найти решения, которые задают новые классы прецессий. Особый интерес представляет класс резонансных прецессий в задаче о движении тела под действием трех однородных силовых полей. Так как случаи резонансных прецессий тела в классической задаче имеют место (например, в решении Д. Гриоли [1] скорость прецессии тела равна его скорости собственного вращения), то актуальность таких исследований очевидна.

**Цель исследования** - изучение условий существования резонансных прецессий динамически симметричного тела и построение новых решений уравнений движения такого тела.

**Основная часть.** Рассмотрим движение твердого тела, имеющего неподвижную точку в силовом поле, которое является суперпозицией трех однородных и постоянных силовых полей. Уравнения движения твердого тела можно представить в виде

$$A\dot{\bar{\omega}} = A\bar{\omega} \times \bar{\omega} + \bar{s} \times \bar{\gamma} + \bar{r} \times \bar{\gamma}^{(1)} + \bar{p} \times \bar{\gamma}^{(2)}, \quad (1)$$

$$\dot{\bar{\gamma}} = \bar{\gamma} \times \bar{\omega}, \quad \dot{\bar{\gamma}}^{(1)} = \bar{\gamma}^{(1)} \times \bar{\omega}, \quad \dot{\bar{\gamma}}^{(2)} = \bar{\gamma}^{(2)} \times \bar{\omega}, \quad (2)$$

где  $Oxuz$  – подвижная система координат с единичными векторами  $\bar{i}_1, \bar{i}_2, \bar{i}_3$ ;  $O$  – неподвижная точка;  $\bar{\gamma}, \bar{\gamma}^{(1)}, \bar{\gamma}^{(2)}$  единичные векторы, характеризующие направления сил  $\bar{P}, \bar{P}_1, \bar{P}_2$  каждого из полей;  $C, C_1, C_2$  – центры приведения сил;  $Oxuz; \bar{s} = P \cdot \overline{OC}, \bar{r} = P_1 \cdot \overline{OC}_1, \bar{p} = P_2 \cdot \overline{OC}_2$ ;  $A = (A_{ij})(i, j = \overline{1,3})$  – тензор инерции тела. Тело вращается вокруг точки  $O$  с угловой скоростью  $\bar{\omega} = \omega_1 \bar{i}_1 + \omega_2 \bar{i}_2 + \omega_3 \bar{i}_3$ . Точка над переменными  $\bar{\omega}, \bar{\gamma}, \bar{\gamma}^{(1)}, \bar{\gamma}^{(2)}$  обозначает дифференцирование по времени  $t$ . В формулах (1), (2) полагаем

$$\bar{\gamma} \cdot \bar{\gamma}^{(1)} = 0, \bar{\gamma}^{(2)} = \bar{\gamma} \times \bar{\gamma}^{(1)}, |\bar{\gamma}| = |\bar{\gamma}^{(1)}| = 1, \quad (3)$$



то есть направления силовых полей будем характеризовать тройкой векторов  $\bar{\gamma}, \bar{\gamma}^{(1)}, \bar{\gamma}^{(2)}$ . Тогда очевидны равенства  $\bar{P} = P\bar{\gamma}, \bar{P}_1 = P_1\bar{\gamma}^{(1)}, \bar{P}_2 = P_2\bar{\gamma}^{(2)}$ .

Рассмотрим прецессии тела относительно вектора  $\bar{\gamma}$ . Они характеризуются инвариантным соотношением (ИС)

$$\bar{a} \cdot \bar{\gamma} = a_0 \quad (a_0 = \cos\theta_0), \quad (4)$$

где  $\theta_0$  – угол между векторами  $\bar{a}$  и  $\bar{\gamma}$  ( $\dot{\bar{a}} = \bar{0}, |\bar{a}| = 1$ ). Вектор угловой скорости тела на ИС (4) представим так

$$\bar{\omega} = \dot{\varphi}\bar{a} + \dot{\psi}\bar{\gamma}. \quad (5)$$

Переменные  $\varphi(t), \psi(t)$  и постоянную  $\theta_0$  можно трактовать как углы Эйлера. Следуя [2,3] запишем значение вектора  $\bar{\gamma}^{(1)}$

$$\bar{\gamma}^{(1)} = b_0[a_0\bar{\gamma}\sin(\psi + \psi_0) - \bar{a}\sin(\psi + \psi_0) + (\bar{a} \times \bar{\gamma})\cos(\psi + \psi_0)], \quad (6)$$

где  $b_0 = \frac{1}{a'_0}$  ( $a'_0 = \sin\theta_0$ ),  $\psi_0$  – постоянная. Значение вектора  $\bar{\gamma}^{(2)}$  найдем из второй формуле системы (3)

$$\bar{\gamma}^{(2)} = b_0[\bar{a}\cos(\psi + \psi_0) - a_0\bar{\gamma}\cos(\psi + \psi_0) + (\bar{a} \times \bar{\gamma})\sin(\psi + \psi_0)]. \quad (7)$$

Подвижную систему координат выберем следующим образом – направим вектор  $\bar{i}_3$  по вектору  $\bar{a}$ . Тогда на основании ИС (4), первого уравнения из (2) имеем [2]

$$\bar{\gamma} = a'_0\sin\varphi \cdot \bar{i}_1 + a'_0\cos\varphi \cdot \bar{i}_2 + a_0 \cdot \bar{i}_3. \quad (8)$$

В качестве единичных векторов неподвижной системы координат  $O\xi\eta\zeta$  примем векторы  $\bar{\gamma}, \bar{\gamma}^{(1)}, \bar{\gamma}^{(2)}$ . Уравнения (1), (2) имеют интеграл энергии

$$A\bar{\omega} \cdot \bar{\omega} - 2(\bar{s} \cdot \bar{\gamma} + \bar{r} \cdot \bar{\gamma}^{(1)} + \bar{p} \cdot \bar{\gamma}^{(2)}) = 2E, \quad (9)$$

где  $E$  – постоянная.

В докладе рассмотрен случай существования у уравнений (1), (2) резонансной прецессии вида

$$\dot{\varphi} = \dot{\psi}. \quad (10)$$

При выполнении условия (10) подвижный и неподвижный годографы вектора угловой скорости симметричны друг другу относительно касательной плоскости к соответствующим аксоидам, проходящей через неподвижную точку  $O$ . Такое движение тела называется изоконическим [2,3]. Следовательно в рассматриваемом случае движение тела характеризуется прецессионно-изоконическим свойством.

Согласно методу предложенному в [2], спроектируем динамическое уравнение (1) на тройку базисных векторов  $\bar{a}, \bar{\gamma}, \bar{a} \times \bar{\gamma}$  с учетом (5), (8), а также запишем интеграл энергии в силу равенств (6)–(9). Все уравнения рассматриваем для случая динамически симметричного твердого тела, то есть при условиях

$$A_{ij} = 0 \quad (i \neq j), A_2 = A_1. \quad (11)$$

Для простоты записи положим  $A_{11} = A_1$ ,  $A_{22} = A_2$ ,  $A_{33} = A_3$ . Потребуем, чтобы полученные соотношения были тождествами по  $\varphi$ . В результате получим систему алгебраических равенств на параметры задачи из которой находим условия существования прецессионно-изоконических движений. Выпишем часть из них

$$p_1 = r_2, \quad p_2 = -r_1, \quad r_2 \cos \psi_0 - r_1 \sin \psi_0 = 0, \quad (12)$$

$$s_1 = \frac{1}{\mu_0} (p_3 \sin \psi_0 + r_3 \cos \psi_0), \quad s_2 = \frac{1}{\mu_0} (p_3 \cos \psi_0 - r_3 \sin \psi_0), \quad (13)$$

$$a_0^2 (A_3 - A_1) + a_0 (3A_1 + A_3) - 2A_3 = 0. \quad (14)$$

$$\mu_0 = -\frac{1}{A_3} [(1 - a_0)A_1 + a_0 A_3]. \quad (15)$$

Функция  $\varphi(t)$  определяется из дифференциального уравнения

$$\dot{\varphi}^2 = \frac{1}{h_0} [a_0(\mu_0 - 1)(s_1 \sin \varphi + s_2 \cos \varphi) + a_0'(s_3 + r_1 \cos \psi_0 + r_2 \sin \psi_0)], \quad (16)$$

где  $h_0 = a_0'[a_0(A_1 - A_3) - A_3]$ .

Положим в уравнении (14)  $A_3 = A_1$ . Тогда из (14) имеем  $a_0 = \frac{1}{2}$ , то есть  $\theta_0 = 60^\circ$ . Доказано, что если  $a_0 \neq \frac{1}{2}$ , то этот параметр принадлежит интервалу  $a_0 \in (0; x_*)$ , где  $x_* = \frac{1}{2}(-5 + \sqrt{41})$ . Из первых двух равенств системы (12) следует, что векторы  $\vec{r}_* = (r_1, r_2, 0)$  и  $\vec{p}_* = (r_2, -r_1, 0)$  ортогональны. Третье равенство из (14) служит для определения параметра  $\psi_0 = \operatorname{arctg} \frac{r_2}{r_1}$ . Поскольку ограничений на параметр  $s_3$  нет, то выбором значений этого параметра можно добиться условия действительности функции  $\varphi(t)$  из уравнения (16). В общем случае  $\varphi(t)$  является эллиптической функцией времени.

**Заключение.** В докладе рассмотрен один случай резонансной прецессии динамически симметричного тела. Получено новое решение исходных уравнений в эллиптических функциях времени в случае  $\dot{\varphi} = \dot{\psi}$ .

### Список литературы

1. Grioli G. Esistenza e determinazione delle precessioni regolari dinamicamente possibili per un solido pesante asimmetrico / G. Grioli // Annali di Matematica. – 1947. – Ser. 4. – Vol. 26, f. 3–4. – P. 271–281.
2. Горр Г.В. Динамика гиростата, имеющего неподвижную точку: моногр. / Г.В. Горр, А.В. Мазнев; М-во обр. и науки Украины, Донецк. нац. ун-т. – Донецк: ДонНУ, 2010. – 364 с. – ISBN 978-966-639-431-9.
3. Гашененко И.Н. Классические задачи динамики твердого тела: моногр. / И.Н. Гашененко, Г.В. Горр, А.М. Ковалев. – Киев: Наук. думка, 2012. – 401 с. – ISBN 978-966-00-1307-0.

## КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЧКИ В СЛОЖНОМ ДВИЖЕНИИ

**Опарина Е.В.**, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I», г. Санкт-Петербург, РФ  
*sirayaekaterina@mail.ru*

Исследуем кинематические характеристики точки, участвующей в сложном движении, при вращении несущего тела. Пусть имеется тело конечной массы, размерами которого можно пренебречь и принять в дальнейшем за материальную точку  $M$ . Материальная точка  $M$  движется по поверхности пластины по эллиптической траектории (рис.1). Локальные координаты  $x_{2M}$  и  $y_{2M}$  точки изменяются в соответствии с уравнениями:

$$\begin{cases} x_{2M}(t) = 7 \cos(2t) \\ y_{2M}(t) = 4 \cos(2t) \end{cases} \quad (1)$$

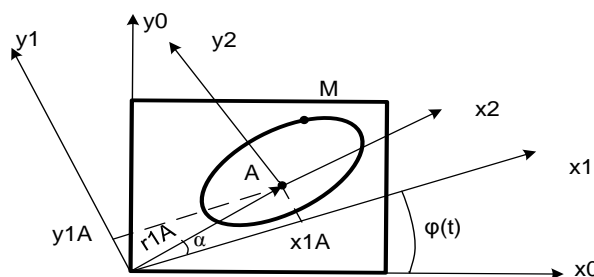


Рис. 1. Движение точки по поверхности пластины по эллиптической траектории

Относительное движение точки и переносное движение несущей пластины описывается тремя системами координат: глобальной системой координат  $Ox_0y_0$  и двумя локальными системами координат  $Ox_1y_1$  и  $Ax_2y_2$ . Пластина вращается вокруг оси  $Oz_0$ , перпендикулярной ее плоскости, по закону:

$$\varphi(t) = 1,5t^2 + 2t. \quad (2)$$

Определим положение точки  $M$  на пластине в осях  $Ox_1y_1$  путем параллельного переноса вдоль радиус-вектора  $r_{1A}$  (рис. 1) и преобразованием поворота на угол  $\alpha$ :

$$r_{1M}(t) = r_{1A} + H_{z_1}(-\alpha) \cdot r_{2M}(t) \quad (3)$$

$H_{z_1}(-\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}$  – матрица поворота системы координат  $Ax_2y_2$  вокруг оси  $z_1$  на угол  $\alpha$  до совмещения с системой координат  $Ox_1y_1$ .

Уравнение движения точки  $M$  в глобальной системе координат  $Ox_0y_0$ :

$$r_{0M}(t) = H_{z_0}(-\varphi(t)) \cdot r_{1M}(t) \quad (4)$$

Построим траекторию точки  $M$  в интервале времени от 0 до  $t_2 = 10$  с.

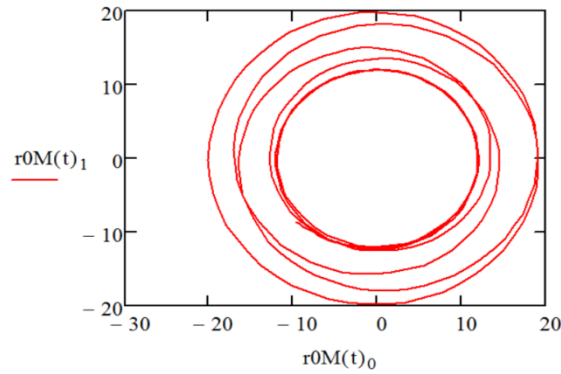


Рис. 2. Участок траектории точки  $M$  в интервале времени  $[0 \leq t \leq t_2]$

Матрица скорости точки  $M$  по отношению к глобальным осям координат вычисляется как первая производная по времени от матрицы глобальных координат (3), (4) точки  $M$ :

$$v_{0M}(t) = \frac{d}{dt}(H_{z_0}(-\varphi(t))(r_{1A} + H_{z_1}(-\alpha) \cdot r_{2M}(t))) = \frac{d}{dt}H_{z_0}(-\varphi(t)) \cdot v_{1M}(t) + \frac{d}{dt}H_{z_1}(-\alpha) \cdot v_{2M}(t) \quad (5)$$

где  $v_{0M}(t) = \frac{d}{dt}(r_{0M}(t))$  – матрица абсолютной скорости точки  $M$  в глобальной системе координат;  $v_{1M}(t) = \frac{d}{dt}(r_{1M}(t))$  – матрица относительной скорости точки  $M$  в локальной системе координат  $Ox_1y_1$ ;  $v_{2M}(t) = \frac{d}{dt}(r_{2M}(t))$  – матрица скорости точки  $M$  в локальной системе координат  $Ax_2y_2$ .

Производная по времени от матрицы поворота  $H_z(-\varphi(t))$  выражается следующим образом:

$$\frac{d}{dt}H_z(-\varphi(t)) = \frac{d}{dt}\varphi \cdot H_z(-\frac{\pi}{2}) \cdot H_z(-\varphi(t)) \quad (6)$$

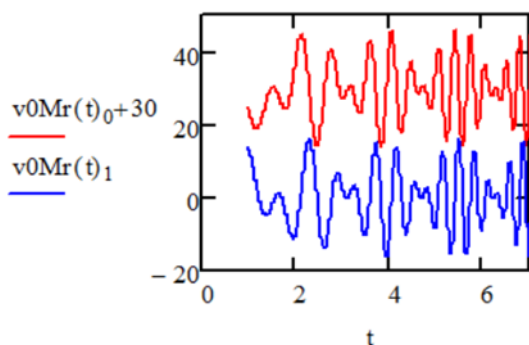
тогда выражение абсолютной скорости после преобразований приобретает вид:

$$v_{0M}(t) = \omega_e(t) \cdot H_z(-\frac{\pi}{2}) \cdot r_{0M}(t) + H_{z_0}(-\varphi(t)) \cdot v_{1M}(t) \quad (7)$$

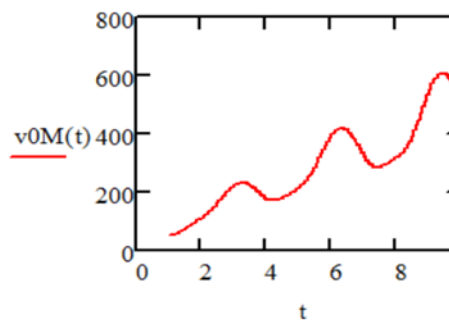
где  $v_{0Me}(t) = \omega_e(t) \cdot H_z(-\frac{\pi}{2}) \cdot r_{0M}(t)$  – матрица переносной скорости точки  $M$  в глобальных координатах;  $v_{0Mr}(t) = H_{z_0}(-\varphi(t)) \cdot v_{1M}(t)$  – матрица

относительной скорости точки  $M$  в глобальных координатах,  
 $\omega_e(t) = \frac{d}{dt} \varphi(t)$  – угловая скорость переносного вращения.

На рис. 4 приведены примеры хронограмм, которые можно снять, используя выражения (5), (6), (7).



а) Графики зависимостей проекций относительной скорости точки  $M$  от времени



б) График зависимости модуля абсолютной скорости точки  $M$  от времени в глобальной системе координат

Рис. 4

**Вывод.** В статье произведено исследование кинематических характеристик сложного движения точки при вращении несущего тела. Решение задачи проводилось в пакете Mathcad, для чего постановка и решение задачи проводилась матричным методом. Использование математического пакета позволило снять хронограммы процессов относительного движения точки, переносного движения тела и абсолютного движения точки.

### Список литературы

1. Расчет стержневых систем на устойчивость с использованием пакета matlab. Пеклов П.Н., Василенко В.А.В сборнике: Неделя науки – 2022. Электронный сборник лучших докладов обучающихся факультета «Транспортное строительство». – Санкт-Петербург, 2022. – С. 23-27.
2. Исследование кинематики плоского движения с использованием матричного метода. Опарина Е.В. В сборнике: IV Бетанкуровский международный инженерный форум. электронный сборник трудов; ответственные за выпуск: О.В. Гимазетдинова, М.С. Панова. – 2022. – С. 261-264.
3. Доев, В. С. Теория колебаний в транспортной механике : учебное пособие / В. С. Доев, Ф. А. Доронин, А. В. Индейкин. – Москва, 2011. – 352 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ И СКОРОСТИ МАНИПУЛЯТОРА

**Опарина Е. В.**, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I», г. Санкт-Петербург, РФ  
*sirayaekaterina@mail.ru*

**Введение.** При решении задач проектирования и управления промышленными роботами приходится определять, как положения его звеньев относительно неподвижной системы координат – абсолютные положения звеньев, так и их относительные положения – обобщенные координаты. Первая задача называется прямой, а вторая – обратной задачей о положениях манипулятора. [1]. Целью статьи является решение прямой задачи о положениях манипулятора, т. е. определение и исследование положения звеньев манипулятора при известных обобщенных координатах [2].

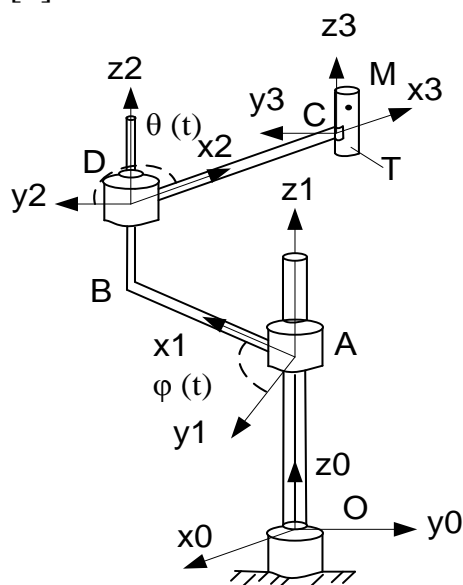


Рис. 1. Схема манипулятора

Движение пространственного манипулятора с четырьмя степенями свободы (рис.1) задается указанием зависимостей от времени четырех обобщенных координат  $s(t)$ ,  $f(t)$ ,  $\phi_{z_1}(t)$ ,  $\theta_{z_2}(t)$ . В захватном устройстве (схвате)  $C$  манипулятора закреплено твердое тело  $T$ , на котором отмечена точка  $M$ . Стоит задача исследовать кинематику пространственного манипулятора: определить положения точки  $M$  тела  $T$  для любого момента времени, определить массив значений скорости и ускорения точки  $M$  тела  $T$  для любого момента времени в глобальных координатах, а также вычислить матрицу угловой скорости и углового ускорения тела  $T$  [3].



**Методы.** Кинематические характеристики пространственного манипулятора найдем посредством применения векторно-матричного метода. Примем следующие исходные данные. Поступательные перемещения звеньев АО и BD заданы функциями  $s(t)=10+5\sin(2\pi t)$  (см) и  $f(t)=15+20\cos^2(\pi t)$  (см) соответственно. Вращение звеньев заданы зависимостями углов поворота от времени вокруг осей  $z_1$  и  $z_2$  (рис. 1):  $\varphi_{z_1}(t)=(\pi/4)\sin(3\pi t)$  (рад) и  $\theta_{z_2}(t)=(\pi/3)+(\pi/4)\cos(\pi t)$  (рад). Координаты точки  $M$  в локальной системе отсчета, связанной с телом  $T$ :  $x_{M3}=8\text{см}$ ,  $y_{M3}=-2\text{см}$ ,  $z_{M3}=4\text{см}$ .

**Определение координат одной точки  $M$  тела  $T$ , расположенного в схвате манипулятора.** Определим положение точки  $M$  тела  $T$  в 531, глобальной системе координат [4]. Матрицы глобальных и локальных координат точек изображены через матрицы радиус-вектора  $\vec{r}$  с соответствующим порядковым индексом. Уравнение движения точки  $M$  в глобальных координатах опишется матрицей:

$$r_{M0} = r_{A0} + H_z(\varphi(t))^T \cdot (r_{D1}(t) + H_{z_2}(\theta(t))^T \cdot (r_{C2}(t) + r_{M3}(t))) . \quad (1)$$

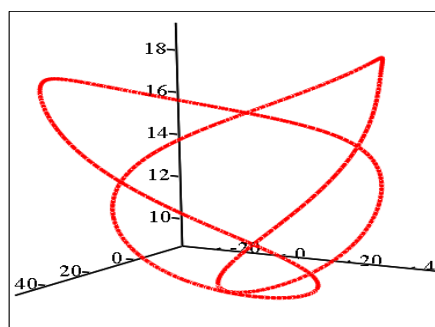
Здесь:

$$r_{A0}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ s(t) \end{pmatrix}, \quad r_{D2}(t) = \begin{pmatrix} AB \\ 0 \\ f(t) \end{pmatrix}, \quad r_{C2}(t) = \begin{pmatrix} DC \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad r_{M3}(t) = \begin{pmatrix} x_{M3} \\ y_{M3} \\ z_{M3} \end{pmatrix},$$

Матрицы поворота  $H_z(\varphi(t))$  и  $H_{z_2}(\theta(t))$  вокруг осей  $z$  и  $z_2$  соответственно:

$$H_z(\varphi(t)) = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad H_{z_2}(\theta(t)) = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

График траектория точки  $M$  в глобальных координатах приведен на рис. 2:



(x, y, z)

Рис. 2. Пространственная траектория точки  $M$  в глобальных координатах

**Определение скорости одной точки  $M$  тела  $T$ , расположенного в схвате манипулятора.** Массив матриц скорости точки  $M$  в глобальной системе отсчета [5]:

$$v_{M0k} = \frac{r_{M0(k+1)} - r_{M0k}}{\Delta t}, \quad (3)$$

где  $r_{M0k}$  – массив матриц координат точки  $M$  в глобальной системе отсчета ( $k = 0, 1, \dots, n$ ). Процесс изменения проекций скорости точки  $M$  во времени показан на рис. 3.

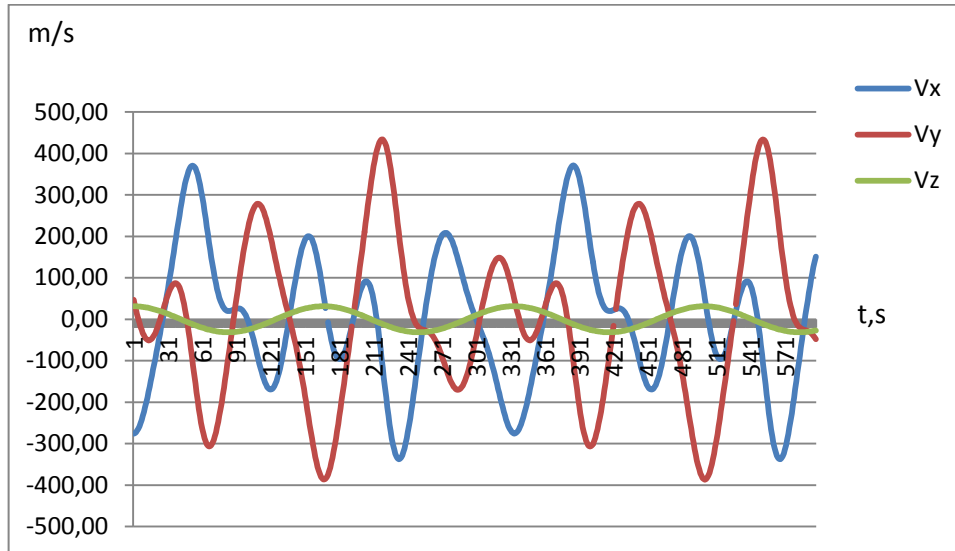


Рис. 3. Графики изменения проекций скорости точки  $M$  от времени в глобальной системе координат

Модуль скорости точки  $M$  определяется выражением:

$$v_{M0k} = \sqrt{|v_{M0k}^T \cdot v_{M0k}|}. \quad (4)$$

**Результаты.** В статье на примере манипулятора с четырьмя степенями свободы решена прямая задача кинематики манипулятора – при известных обобщенных координатах найдено положение, траектория и скорость схвата в любой момент времени. Решение прямой задачи произведено векторно-матричным методом в среде математического моделирования Mathcad.

### Список литературы

1. Горский А.С. Проблемные вопросы создания наземных робототехнических комплексов / А.С. Горский, В.В. Демьянов, А.О. Жуков // Робототехника и техническая кибернетика. – Т. 10. – № 2. – Санкт-Петербург : ЦНИИ РТК. – 2022. – С. 154-160. – Текст : непосредственный. DOI 10.31776/RTSJ.10209
2. Craig J.J. Introduction to Robotics Mechanics and Control. 3rd edition. Pearson Education, Inc., 2005.
3. Direct kinematics of a 3-prps type parallel manipulator. Baigunchekov Zh.Zh., Kassinov A.N. Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science. – 2020. – Т. 108. – № 4. – С. 38-46. DOI: 10.26577/JMMCS.2020.v108.i4.04
4. Расчет стержневых систем на устойчивость с использованием пакета matlab. Пеклов П.Н., Василенко В.А.В сборнике: Неделя науки – 2022. Электронный сборник лучших докладов обучающихся факультета «Транспортное строительство». Санкт-Петербург, 2022. – С. 23-27.

## АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ ИНВАРИАНТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ В ЧАСТНОМ РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ КИРХГОФА–ПУАССОНА

*Платонова Е.С.*

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*e.platonova@donnu.ru*

**Введение.** Моделирование движений гиростата, имеющего неподвижную точку, под действием достаточно широкого класса сил приводит к исследованию решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений высокого порядка. К таким системам относятся уравнения Кирхгофа-Пуассона задачи о движении гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил [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 [2,3].

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 [1].

**Целью работы** является исследования условий существования обобщенного класса полиномиальных решений дифференциальных уравнений задачи о движении гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил.

**Основная часть.** Рассмотрим движение заряженного и намагниченного гиростата с неподвижной точкой под действием потенциальных и гироскопических сил. 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 коллинеарно 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

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

Уравнения (1) допускают три первых интеграла

$$(A\omega \cdot \omega) - 2(s \cdot v) + (Cv \cdot v) = 2E_0, \quad (2)$$

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

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; – 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.

Поставим задачу: следуя [4] найти условия существования у уравнений (1),(2) частных решений вида

$$q = Q(p) = \sum_{i=0}^n b_i p^i, \quad r^2 = R(p) = \sum_{j=0}^m c_j p^j, \quad v_1 = \varphi(p) = \sum_{i=0}^l a_i p^i, \\ v_2 = \psi(p) = \sum_{j=0}^{n_1} g_j p^j, \quad v_3 = \frac{\varkappa(p)}{p} \sqrt{R(p)}, \quad \varkappa(p) = \sum_{i=0}^{m_1} f_i p^i, \quad (3)$$

Указанным классом полиномиальных решений (3) в задаче о движении тяжелого гиростата при  $f_0=0$  можно описать решение А.И. Докшевича.

В результате исследования было построено одно новое частное решение обобщенного класса А.И. Докшевича (3) для которого максимальные степени полиномов рассматриваемого решения таковы

$$n = 2, m = 4, l = 1, n_1 = 2, m_1 = 1.$$

Не указывая значения коэффициентов полиномов решения (3) и параметров рассматриваемой задачи запишем полученное новое частное решения

$$q = Q(p) = b_2 p^2 + b_1 p + b_0, \quad r^2 = R(p) \\ = c_4 p^4 + c_3 p^3 + c_2 p^2 + c_1 p + c_0, \\ v_1 = \varphi(p) = a_1 p + a_0, \quad v_2 = \psi(p) = g_2 p^2 + g_1 p + g_0, \\ v_3 = \frac{\varkappa(p)}{p} \sqrt{R(p)}, \\ \varkappa(p) = f_1 p + f_0, \quad \dot{p} = \frac{(f_1 - a_1)}{2b_2 f_1} p \sqrt{c_4 p^2 + c_3 p + c_2}. \quad (4)$$

Построенное решение можно характеризовать как решение с двумя линейными инвариантными соотношениями вида

$(b_2 g_1 - b_1 g_2)p + g_2 q - b_2 v_2 + (b_2 g_0 - b_0 g_2) = 0, \quad v_1 - a_1 p - a_0 = 0,$   
производная от которых, в силу уравнений (1), не обращается тождественно в ноль.

**Заключение.** В докладе построено новое частное решение обобщенного полиномиального класса Докшевича дифференциальных уравнений задачи о движении гиростата с неподвижной точкой под действием потенциальных и гироскопических сил, которое зависит от

семи свободных параметров задачи и решения, и описывается элементарными функциями времени.

### Список литературы

1. Горр Г.В. Динамика гироскопа, имеющего неподвижную точку / Г.В. Горр, А.В. Мазнев. – Донецк: Издательство ДонНУ, 2010.– 364с .
2. Klein F. Überdie Theorie des Kreisels/ F. Klein; A. Sommerfeld. – New York: Johnson reprint corp., 1965. – 996 p.
3. Гашененко И.Н. Классические задачи динамики твердого тела : моногр./ И.Н. Гашененко , Г.В. Горр, А.Н. Ковалев . – Киев: Наук. думка, 2012. – 401 с. – ISBN 978-966-00-1307-0.
4. Зыза А.В. Новые классы частных решений одной задачи о движении гироскопа / А.В. Зыза , Т.В. Хомяк, Е.С. Платонова // Вестник Удмуртского университета. Сер. Математика, механика, компьютерные науки. –2022. – Т .32, вып. 2. – С. 298-318.

УДК 531.38

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

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

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*shchepin\_nick@mail.ru*

**Введение.** В работе рассмотрена конечномерная модель замкнутого упругого стержня, с круговой конфигурацией упругой оси. Ось стержня моделировалась системой  $n$  одинаковых гироскопов Лагранжа, связанных упругими сферическими шарнирами. Полагалось, что система как целое вращается с угловой скоростью  $\Omega$  вокруг неподвижной оси и ее центр масс неподвижен. На систему не действуют внешние силы и моменты.

**Цель** работы состояла в изучении возможности существования у такой системы режима равновесия во вращающейся системе координат.

**Постановка задачи.** Рассмотрим систему  $n$  одинаковых гироскопов Лагранжа, связанных упругими сферическими шарнирами, расположенными в точках  $O_k$  пересечения осей симметрии тел  $S_k$  и  $S_{k-1}$ ,  $k = \overline{1, n}$ . Полагаем, что на систему не действуют внешние силы и моменты, т.е. ее центр масс  $C$  неподвижен. Для замкнутых систем концевые точки тел  $S_1$  и  $S_n$  совпадают. Тогда имеем

$$\sum_{k=1}^n \mathbf{o}_k \mathbf{o}_{k+1} = 0. \quad (1)$$

Свяжем с каждым телом  $S_k$  систему координат  $C_k X_k Y_k Z_k$  ( $k = \overline{1, n}$ ), где  $C_k$  — центр масс тела  $S_k$ , а ось  $C_k Z_k$  направлена вдоль его оси

симметрии. Кроме того, введем неподвижную систему координат  $CXYZ$  и осевую систему координат  $CX'Y'Z'$ , которая вращается вокруг неподвижной оси  $CY$  со скоростью  $\Omega$ . В случае, когда все оси симметрии тел  $O_k O_{k+1}$  лежат в одной плоскости  $CXZ$ , ось  $CY$  направлена перпендикулярно этой плоскости.

Определим положение связанной системы координат  $C_k X_k Y_k Z_k$  по отношению к осевой углами Крылова  $\psi_k, \theta_k, \varphi_k$ . Тогда, учитывая, что для одинаковых тел  $O_k O_{k+1} = const = h$ , из (1) получаем

$$f_1 = \sum_{k=1}^n \sin \psi_k \cos \theta_k = 0,$$

$$f_2 = \sum_{k=1}^n \sin \theta_k = 0, f_3 = \sum_{k=1}^n \cos \psi_k \cos \theta_k = 0. \quad (2)$$

Кинетическая энергия системы имеет вид

$$T = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n [m \dot{r}_{kc}^2 + A(p_k^2 + q_k^2) + B r_k^2], \quad (3)$$

где  $m$  — масса тела  $S_k$ ,  $A, B$  — соответственно его экваториальный и осевой моменты инерции,  $r_{kc}$  — расстояние от центра масс тела  $S_k$  до неподвижной точки  $C$ , а  $p_k, q_k, r_k$  — компоненты вектора абсолютной угловой скорости  $\omega_k$  тела  $S_k$  в связанной системе координат, которая может быть представлена как  $\omega_k = \Omega + \omega_k^r$ , где  $\Omega = \Omega e_y$  — угловая скорость осевой системы координат ( $e_y$  — орт оси  $OY$ ), а  $\omega_k^r$  — угловая скорость связанной системы координат относительно осевой.

Компоненты абсолютной угловой скорости тела  $S_k$ , как функции углов Крылова и скорости вращения  $\Omega$  выражаются следующим образом

$$\begin{aligned} p_k &= (\dot{\psi}_k + \Omega) \cos \theta_k \sin \varphi_k + \dot{\theta}_k \cos \varphi_k \\ q_k &= (\dot{\psi}_k + \Omega) \cos \theta_k \cos \varphi_k - \dot{\theta}_k \sin \varphi_k \\ r_k &= \dot{\varphi}_k - (\dot{\psi}_k + \Omega) \sin \theta_k. \end{aligned} \quad (4)$$

Учитывая неподвижность общего центра масс  $C$ , получим

$$\begin{aligned} \dot{r}_{kc} &= \frac{h}{2} \left\{ -(\omega_k \times e_k^3) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (2i-1) (\omega_i \times e_i^3) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{n} \sum_{i=k+1}^n [2(n-i)+1] (\omega_i \times e_i^3) \right\}, \quad k = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $e_k^3$  — орт оси симметрии тела  $S_k$ . В случае, когда нижний индекс второй суммы равен  $n+1$ , считаем ее равной нулю.



Подстановка (4), (5) в (3) дает

$$T = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \{A' [(\dot{\psi}_j + \Omega)^2 \cos^2 \theta_j + \dot{\theta}_j^2] + B[\dot{\phi}_j - (\dot{\psi}_j + \Omega) \sin \theta_j]^2 + mc^2 \left( \sum_{i=1}^j b_{ij} A_{ij} + \sum_{i=j+1}^n c_{ij} A_{ij} \right)\}. \quad (6)$$

Потенциальную энергию системы считаем равной

$$\begin{aligned} \Pi = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \{k_1 [(\psi_k - \psi_{k-1})^2 \cos^2 \theta_k + (\theta_k - \theta_{k-1})^2] + \\ + k_2 [\varphi_k - \varphi_{k-1} - (\psi_k - \psi_{k-1}) \sin \theta_k]^2\}, \quad (7) \end{aligned}$$

Здесь  $k_1, k_2$  — соответственно жесткости изгиба и кручения. Кроме того, для замкнутых систем ( $O_{n+1} = O_1$ ) полагалось  $\psi_0 = \psi_n - 2\pi, \theta_0 = \theta_n - 2\pi, \varphi_0 = \varphi_n - 2\pi$ .

Уравнения движения системы в случае, когда ее обобщенные координаты удовлетворяют дополнительным связям (2), могут быть записаны в виде

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \sum_{k=1}^m \lambda_k \frac{\partial f_k}{\partial q_i} = 0, \quad (8)$$

где  $\lambda_k$  — неопределенные множители Лагранжа, характеризующие реакции дополнительных связей. В нашем случае  $m = 3$  и обобщенными координатами являются  $\psi_i, \theta_i, \varphi_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ).

Подставляя в (8) выражения для кинетической и потенциальной энергии (6), (7) и учитывая (2), получаем уравнения движения системы.

Рассмотрим случай, когда оси симметрии системы образуют плоскую кривую, которая равномерно вращается, как целое, со скоростью  $\Omega$  вокруг оси перпендикулярной этой плоскости. Во вращающейся системе координат этот режим описывает положение равновесия изучаемой системы. Определим условия, при которых существует такое относительное равновесие. Полагая в (8) скорости и ускорения обобщенных координат равными нулю, а  $\psi_k = \psi_k^0, \theta_k = 0, \varphi_k = \varphi_k^0$  ( $k = \overline{1, n}$ );  $\lambda_i = \lambda_i^0$  ( $i = \overline{1, 3}$ ) получаем

$$\begin{aligned} \mu \Omega^2 \{ (2k-1) \sum_{j=k+1}^n (2n-2j+1) \sin(\psi_k^0 - \psi_j^0) + (2n-2k+1) \times \\ \times \sum_{j=1}^k (2j-1) \sin(\psi_k^0 - \psi_j^0) \} - k_1 (\psi_{k+1}^0 - 2\psi_k^0 + \psi_{k-1}^0) + \end{aligned}$$

$$+\lambda_1^0 \cos \psi_k^0 - \lambda_3^0 \sin \psi_k^0 = 0, \quad (9)$$

$$k_2(\varphi_k^0 - \varphi_{k-1}^0)(\psi_k^0 - \psi_{k-1}^0) = \lambda_2^0, \quad (10)$$

$$\varphi_{k+1}^0 - 2\varphi_k^0 + \varphi_{k-1}^0 = 0. \quad (11)$$

Кроме того, из соотношений (2) следует

$$\sum_{k=1}^n \sin \psi_k^0 = 0, \quad \sum_{k=1}^n \cos \psi_k^0 = 0. \quad (12)$$

Из уравнения (11) получаем  $\varphi_k^0 - \varphi_{k-1}^0 = \text{const} = a$ . Это равенство возможно либо при  $a = 0$ , либо при  $a = 2\pi/n$ . Из соотношения (10) находим  $\lambda_2^0 = k_2 a (\psi_k^0 - \psi_{k-1}^0)$ , а из уравнений (9), (12) — значения множителей Лагранжа  $\lambda_1^0, \lambda_3^0$  и углы  $\psi_k^0$  ( $k = \overline{1, n}$ ), определяющие форму замкнутой конфигурации.

Если замкнутая фигура симметрична относительно оси  $CY$ , а это возможно в случае, когда система содержит четное количество тел, то как целое, она представляет собой симметричное твердое тело с осью симметрии  $CY$ , для которого существует режим равномерного вращения вокруг оси  $CY$ .

Для системы с круговой конфигурацией  $\psi_k^0 = \frac{2\pi k}{n} + \alpha_1$  ( $k = \overline{1, n}$ ), где  $\alpha_1$  — произвольная постоянная [1].

Это решение удовлетворяет системе уравнений (12), а подстановка его в (9) дает возможность определить  $\lambda_1^0 = \lambda_1^0(\Omega)$ ,  $\lambda_3^0 = \lambda_3^0(\Omega)$ , в виде

$$\lambda_1^0 = -n\mu\Omega^2 ctg \frac{\pi}{n}, \quad \lambda_3^0 = -n\mu\Omega^2 ctg^2 \frac{\pi}{n}$$

**Заключение.** Таким образом, установлено, что при условии четного числа тел в системе, ее уравнения движения имеют решение, описывающее относительное положение равновесия системы, в котором все оси симметрии тел лежат в одной плоскости.

### Список литературы

1. Болграбская И.А. Конечномерная модель замкнутого упругого стержня / И.А. Болграбская, Н.Н. Щепин // Механика твердого тела. — 2005. — Вып.35. — С. 33-39.

# Механика деформируемого твердого тела

УДК 539.3

## КРУЧЕНИЕ МНОГОСВЯЗНОГО АНИЗОТРОПНОГО ЦИЛИНДРА

*Авдюшина Е.В.*, канд. физ.-мат. наук, доц., *Сошина Е.И.*  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*ye.soshyna@internal.donnu-support.ru*

В элементах с отверстиями многих конструкций современной науки и техники при эксплуатации в условиях кручения возникают высокие концентрации напряжений, что необходимо учитывать при проектировании. В связи с этим необходимы методы определения этих напряжений и их приложения к решению конкретных задачи. Некоторые исследования в этом направлении с использованием комплексных потенциалов выполнены лишь в работах [1–3]. В данной работе дано общее представление комплексного потенциала теории кручения для цилиндра с произвольными отверстиями. Описаны результаты численных исследований для кругового цилиндрического кольца и цилиндра с полостью квадратного сечения.

**Постановка задачи.** Рассмотрим цилиндрическое тело постоянного поперечного сечения с продольными полостями, образующие к которым параллельны оси цилиндра, совпадающей с осью  $Oz$ . Поперечное сечение цилиндра занимает многосвязную область  $S$ , ограниченную внешним контуром  $L_0$  и контурами эллиптических отверстий  $L_l$  ( $l = \overline{1, \mathcal{L}}$ ) с центрами в точках  $(x_{0l}, y_{0l})$  и полуосями  $a_l, b_l$ , причем полуось  $a_l$  с осью  $Ox$  образует угол  $\varphi_l$ . Цилиндр изготовлен из однородного прямолинейно анизотропного материала. В каждой его точке имеется плоскость упругой симметрии, перпендикулярная к оси цилиндра. Внешняя поверхность цилиндра и поверхности полостей свободны от усилий, один из концов цилиндра жестко закреплен, на другом приложены усилия, приводящиеся к крутящему моменту  $M_0$ . Решение задачи об определении напряженно-деформированного состояния рассматриваемого цилиндра при использовании комплексного потенциала кручения сводится к нахождению функции

$$\varphi(x, y) = 2\operatorname{Re} \left[ \Phi_3(z_3) + \gamma z_3 \overline{z_3} \right]. \quad (1)$$

где  $\gamma = -\vartheta / 2a_{55}\beta_3^2$ ,  $z_3 = x + \mu_3 y$ ,  $\mu_3 = \alpha_3 + i\beta_3$  – корень характеристического уравнения  $a_{55}\mu^2 - 2a_{45}\mu + a_{44} = 0$ ,  $a_{ik}$  – коэффициенты деформации материала цилиндра;  $\vartheta$  – крутка;  $\Phi_3(z_3)$  – комплексный потенциал кручения, определяемый из граничных условий:

$$2\operatorname{Re}\left[\Phi_3(z_3)\right]=c_l-2\operatorname{Re}\left[\gamma z_3\overline{z_3}\right] \text{ на } L_l \left(l=\overline{0, \mathcal{L}}\right), \quad (2)$$

которые для многосвязной области удобнее использовать в дифференциальной форме

$$2\operatorname{Re}\left[\delta_3\Phi'_3(z_3)\right]=-2\operatorname{Re}\left[\gamma\overline{\delta_3 z_3}\right] \text{ на } L_l \left(l=\overline{0, \mathcal{L}}\right). \quad (3)$$

Комплексный потенциал  $\Phi_3(z_3)$  определен в области  $S_3$ , получаемой из области  $S$  аффинным преобразованием и ограниченной контурами  $L_{3l}$ , соответствующими контурам  $L_l$ . Эту функцию и ее производную представим в виде [1]

$$\Phi_3(z_3)=\sum_{l=0}^{\mathcal{L}}\sum_{n=1}^{\infty}a_{3ln}\Phi_{3ln}(z_3), \quad \Phi'_3(z_3)=\sum_{l=0}^{\mathcal{L}}\sum_{n=1}^{\infty}a_{3ln}\delta_3\Phi'_{3ln}(z_3), \quad (4)$$

в котором

$$\begin{aligned} \Phi_{30n}(z_3) &= z_3^n/R_{30}^n, \quad \Phi_{3ln}(z_3) = \zeta_{3l}^{-n}, \\ \Phi'_{30n}(z_3) &= \frac{n z_3^{n-1}}{R_{30}^n}, \quad \Phi'_{3ln}(z_3) = -\frac{n}{\zeta_{3l}^{n-1} R_{3l}(\zeta_{3l}^2 - m_{3l})}, \end{aligned} \quad (5)$$

$\zeta_{3l}$  – переменные, получаемые из конформных отображений

$$z_3 = z_{3l} + R_{3l} \left( \zeta_{3l} + \frac{m_{3l}}{\zeta_{3l}} \right) \quad (6)$$

внешности единичных кругов  $|\zeta_{3l}| \geq 1$  на внешности эллипсов  $L_{3l}$ ;

$$\begin{aligned} z_{3l} &= x_{0l} + \mu_3 y_{0l}, \\ R_{3l} &= \frac{\left[ a_l (\cos \varphi_l + \mu_3 \sin \varphi_l) + i b_l (\sin \varphi_l - \mu_3 \cos \varphi_l) \right]}{2}, \\ m_{3l} &= \frac{\left[ a_l (\cos \varphi_l + \mu_3 \sin \varphi_l) - i b_l (\sin \varphi_l - \mu_3 \cos \varphi_l) \right]}{2R_{3l}}, \end{aligned}$$

$a_{3ln}$  – постоянные, которые при использовании дифференциальной формы граничных условий (3) будем определять из них обобщенным методом наименьших квадратов. Для этого на контурах  $L_l$  ( $l=\overline{0, \mathcal{L}}$ ) выберем систему точек  $t_m$  ( $m=\overline{1, M}$ ), в которых удовлетворим граничным условиям (3) обобщенным методом наименьших квадратов. В результате получим систему линейных алгебраических уравнений:

$$2\operatorname{Re}\sum_{l=0}^{\mathcal{L}}\sum_{n=1}^{\infty}\delta_3\Phi'_{3ln}(t_{3lm})a_{3ln}=-2\operatorname{Re}\left(\gamma\overline{\delta_3 t_{lm}}\right) \left(m=\overline{1, M}\right). \quad (7)$$

Псевдорешения этой системы найдем методом сингулярных разложений. После решения этой системы станет известной производная функции  $\Phi'_3(z_3)$ , что позволит вычислить напряжения на основных площадках, а по ним и напряжения на взаимноперпендикулярных

площадках с нормальными  $n$  и  $s$ .

При проведении расчетов количество членов в рядах (4) и точек на контурах  $L_1$ , в которых удовлетворялись граничные условия, увеличивались до тех пор, пока граничные условия на контурах не удовлетворялись с достаточно высокой степенью точности (модуль абсолютной погрешности не превышал  $10^{-3}$ ). Ниже описаны некоторые их полученных результатов исследования. В них значения напряжений приведены с точностью до крутки  $\vartheta$ .

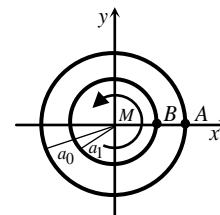


Рис.1

В таблице для кольцевого цилиндра приведены значения напряжений  $\tau_{sz}$  на площадках, нормальных к контурам, в точках  $A$  и  $B$  (рис. 1), в зависимости от значений отношения  $a_{44}/a_{55}$  коэффициентов деформации и отношения  $a_1/a_0$  радиусов внутреннего  $L_1$  и внешнего  $L_0$  контуров кольца. Как видно, с увеличением значения  $a_1/a_0$  (с уменьшением ширины кольца) и с ростом  $a_{44}/a_{55}$  концентрация напряжений в цилиндре растет.

Точки	$\frac{a_{44}}{a_{55}}$	$a_1/a_0$				
		0,1	0,5	0,8	0,9	0,99
A	0,1	0,181	0,181	0,181	0,181	0,181
	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	10	1,818	1,818	1,818	1,818	1,818
B	0,1	0,018	0,090	0,145	0,172	0,180
	1	0,100	0,500	0,800	0,950	0,980
	10	0,181	0,909	1,455	1,727	1,800

На рис. 2 приведены графики распределения напряжений  $\tau_{sz}$  вблизи внешнего контура для кругового цилиндра с полостью квадратного сечения и отношением коэффициентов деформации  $a_{44}/a_{55} = 10$  в зависимости от  $a_1/a_0$ , где  $a_1$  – полудлина стороны квадрата.

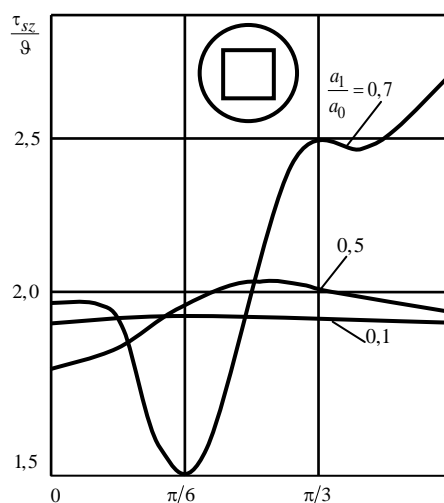


Рис. 2

Из рис. 2 видно, что при увеличении размеров квадрата концентрация напряжений около внешнего контура в зонах, близких к вершинам квадрата резко увеличивается.

### Список литературы

1. Лехницкий С.Г. Кручение анизотропных и неоднородных стержней. – М.: Наука, 1971. – 240 с.
2. Калоеров С.А., Горянская Е.С. Кручение анизотропных стержней с полостями и плоскими трещинами // Теорет. и прикладная механика. – 1996.– № 26. – С. 36-43.
3. Калоеров С.А., Горянская Е.С. Двумерное напряженно-деформированное состояние многосвязного анизотропного тела // Концентрация напряжений.– К.: А.С.К., 1998. – С. 10–26. (Механика композитов: В 12 т., Т. 7)

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДЕЛЕЙ ДРОБНОГО ПОРЯДКА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ УСТАНОВИВШИХСЯ КОЛЕБАНИЙ ВЯЗКОУПРУГИХ ТЕЛ

*Богачев И.В.*, канд. физ.-мат. наук

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

*bogachev89@yandex.ru*

Исследование поведения материалов со сложной неоднородной структурой в настоящее время является важной задачей механики сплошных сред. К таким материалам относятся современные функционально-градиентные полимеры (ФГП) и полимеркомпозиты, свойства которых зависят от пространственных координат, а происходящие в них процессы ползучести и релаксации являются нелинейными как в пространстве, так и по времени. Для учета фактора нелинейности по времени применяются дробно-дифференциальные обобщения моделей вязкоупругости [1], которые позволяют при меньшем количестве параметров более точно описывать поведение материалов по сравнению со стандартными моделями. Важно заметить, что при изготовлении объектов и конструкций из современных ФГП необходимо оценивать соответствие реальных законов изменения их характеристик изначально спроектированным. Для этого могут эффективно применяться неразрушающие подходы на основе акустического зондирования в режиме установившихся колебаний. Для их реализации требуется разработка адекватных моделей колебаний рассматриваемых объектов на основе моделей вязкоупругости дробного порядка с учетом неоднородности их свойств, а также методов решения обратных задач (ОЗ) [2] идентификации их функций-параметров.

В работе на основе общей постановки задачи об установившихся колебаниях неоднородного упругого тела с использованием принципа соответствия Вольтерра сформулирована постановка задачи для неоднородного вязкоупругого тела. Следуя принципу соответствия, тензор упругих модулей заменен на тензор функций комплексных модулей, зависящих как от координат, так и от частоты колебаний. Комплексные модули записаны с использованием дробно-дифференциального обобщения модели стандартного вязкоупругого тела, качественно описывающего процессы деформирования полимеров. В его состав входят четыре параметра: мгновенный и длительный модули упругости (в рассматриваемом случае неоднородного материала являющиеся функциями координат), время релаксации и параметр дробности. Проведено исследование свойств комплексного модуля, его вещественной

и мнимой частей, выявлены диапазоны значений параметров модели, при которых наибольшим образом проявляются реологические свойства.

С использованием общей постановки рассмотрены две модельные задачи:

– о продольных колебаниях заземленной на одном краю неоднородной вязкоупругой балки, вызванных приложенной к другому краю периодической нагрузкой;

– об изгибных колебаниях неоднородной по радиальной координате заземленной по контуру вязкоупругой круглой пластины в рамках гипотез Кирхгофа.

Для обеих задач выписаны постановки в обезразмеренном виде и проведено исследование влияния параметра дробности на амплитудно-частотные характеристики (АЧХ), свойства комплексного модуля и процессы затухания. Выявлено, что параметр дробности существенно влияет на амплитуду в окрестности вязкоупругих резонансов, и, чем ближе значение параметра к нулю, тем сильнее поведение объектов соответствует упругому случаю.

Для рассмотренных объектов были сформулированы постановки ОЗ идентификации функций мгновенного и длительного модулей, входящих в состав комплексного модуля, по данным акустического зондирования. Для построения методики решения ОЗ ввиду нелинейности использован метод линеаризации, на его основе предложены итерационные процессы, дополненные элементами проекционного подхода, позволяющего определять поправки к искомым функциям в заданных классах функций. Для обеих ОЗ были проведены наборы вычислительных экспериментов; на основе анализа их результатов сформулированы рекомендации по выбору оптимальных режимов зондирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Государственное задание в области научной деятельности, научный проект № FENW-2023-0012.

### **Список литературы**

1. Шитикова М.В. Обзор вязкоупругих моделей с операторами дробного порядка, используемых в динамических задачах механики твердого тела / М.В. Шитикова // Изв. РАН. МТТ. – 2022. – № 1. – С.3–40.
2. Ватульян А.О. Коэффициентные обратные задачи механики. / А.О. Ватульян. – М.: Физматлит, 2019. – 272 с. – ISBN 978-5-9221-1826-2.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЛОКАЛЬНОЙ СИЛЫ НА БАЗЕ ОБОБЩЁННОЙ ТЕОРИИ В ВАРИАНТЕ $\{m,n\}$ -АППРОКСИМАЦИИ

*Бондаренко Н.С.*, канд. физ.-мат. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*n.bondarenko@donnu.ru*

**Введение.** Существенное влияние на напряжённо-деформированное состояние (НДС) упругих тел оказывает анизотропия упругих свойств материалов. В настоящее время в современной технике и промышленности широкое распространение получили композитные материалы, обладающих резкой анизотропией упругих свойств. Изучение НДС анизотропных тел на основе трёхмерных уравнений теории упругости сопряжено со значительными математическими трудностями.

В связи с этим при проведении прочностных расчётов тонкостенных элементов конструкций, изготовленных из композитных материалов, целесообразным является использование обобщённых теорий пластин и оболочек, в рамках которых осуществляется редукция трёхмерных уравнений теории упругости к двумерным. К одному из таких подходов относится обобщённая теория пластин и оболочек в варианте  $\{m,n\}$ -аппроксимации, основанная на методе И. Н. Векуа разложения заданных и искомых функций в ряды Фурье по полиномам Лежандра от толщинной координаты [1]. Подобный подход позволяет учитывать явления, связанные с поперечными сдвигами и обжатием. Построение обобщённых теорий пластин и оболочек в настоящее время является весьма актуальным [2, 3].

Дополнительные трудности в определении НДС пластин и оболочек вносит наличие концентраторов напряжений, к которым относятся силовые воздействия, имеющие сосредоточенный или локальный характер. Поэтому исследование НДС трансверсально-изотропных пластин при действии локальных силовых нагрузок на базе обобщённой теории в варианте  $\{m,n\}$ -аппроксимации является актуальной и важной научной задачей.

**Постановка задачи.** Рассмотрим трансверсально-изотропную пластину толщины  $2h$  в безразмерной системе координат  $x_1, x_2, x_3$ , определённых с точностью до полутолщины пластины  $h$ .

Пластина подвергается локальному силовому воздействию, нормальному к срединной плоскости, распределённому по области  $\Omega_m$ , в качестве которой рассмотрены два варианта:

$\Omega_1$  – круг радиуса  $R$  с центром в начале координат;



$\Omega_2$  – эллипс с полуосями  $a$  и  $b$  с центром в начале координат.

Компоненты вектора объёмной силы по толщине пластины изменяются по таким законам:

$$F_1(x_1, x_2, x_3) = F_2(x_1, x_2, x_3) = 0; \quad F_3(x_1, x_2, x_3) = \frac{1}{2} \delta(x_1, x_2) P_0(x_3),$$

где  $\delta(x_1, x_2)$  – двумерная дельта-функция Дирака;  $P_0(x_3) \equiv 1$  – полином Лежандра.

Предполагаем, что линия внешней границы пластины находится на значительном удалении от места приложения локальной силовой нагрузки.

**Методика решения.** В качестве разрешающей взята система дифференциальных уравнений статики для трансверсально-изотропных пластин на базе обобщённой теории в варианте  $\{1,0\}$ -аппроксимации [1]. Фундаментальное решение данной системы получено в статье [3].

Выражения для радиального ( $M_r$ ), окружного момента ( $M_\varphi$ ) и перерезывающей силы ( $Q_r$ ) в полярной системе координат ( $r, \varphi$ ) имеют вид (здесь приведены выражения лишь для функций, не равных тождественно нулю):

$$M_{r, \varphi} = -\frac{1}{8\pi} \left\{ 2(1+\nu) \ln \frac{\gamma r}{2} \pm (1-\nu) \right\}; \quad Q_r = -\frac{1}{2\pi r},$$

где  $r = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$ ;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $\ln \gamma = C = 0,5772\dots$  – постоянная Эйлера.

Локальный характер приложенной нагрузки позволяет использовать для решения задачи формулу свёртки [4], которая принимает вид:

для области  $\Omega_1$ :

$$P(x_1, x_2) = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^R \rho E(x_1 - \rho \cos \theta, x_2 - \rho \sin \theta) W(\rho, \theta) d\rho;$$

для области  $\Omega_2$ :

$$P(x_1, x_2) = ab \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^1 \rho E(x_1 - \rho \cos \theta, x_2 - \rho \sin \theta) W(\rho, \theta) d\rho,$$

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

**Анализ результатов численных исследований.** Проведены численные расчёты, посвящённые выявлению влияния упругих постоянных трансверсально-изотропного материала пластины и геометрии области локального нагружения на компоненты НДС.

Рассмотрен случай равномерно распределённой по области  $\Omega_m$

нагрузки единичной интенсивности ( $W(\rho, \theta) \equiv 1$ ). Построены графики радиального ( $M_r$ ) и окружного момента ( $M_\varphi$ ). Исследована зависимость указанных внутренних силовых факторов и радиальной перерезывающей силы от коэффициента Пуассона, значение которого для различных трансверсально-изотропных материалов бралось таким:  $\nu = 0,087$ ;  $\nu = 0,22$ ;  $\nu = 0,3484$ . В качестве примера рассмотрена область локального нагружения  $\Omega_1$  при  $R=1$  и область  $\Omega_2$  при  $a=1$ ,  $b=2$ .

Проведённые численные расчёты показали, что коэффициент Пуассона оказывает существенное влияние на обобщённые радиальные и окружные моменты. С возрастанием коэффициента Пуассона  $\nu$  значения  $M_{r,\varphi}$  увеличиваются. Следовательно, аналогичные закономерности будут наблюдаться и в поведении нормальных напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ , компонентами разложения которых в ряды Фурье по полиномам Лежандра являются найденные моменты. Установлено, что на перерезывающую силу  $Q_r$  упругие постоянные трансверсально-изотропного материала влияния не оказывают.

**Заключение.** Таким образом, при проведении расчётов локального НДС пластин существенно важным является учёт упругих свойств трансверсально-изотропных материалов.

В перспективе возможно:

- изучение НДС пластин на базе обобщённой теории в варианте  $\{m,n\}$ -аппроксимации для случая удержания большего членов рядов разложения заданных и искомым функций;
- исследование влияния локальных силовых нагрузок, действующих на пластину по произвольному закону внутри произвольной области;
- рассмотрение аналогичных задач для более общих случаев анизотропии материала пластины.

*Исследование проводилось по теме государственного задания (№ госрегистрации 1023031000025-7-1.1.1;1.1.2).*

### Список литературы

1. Пелех Б.Л. Слоистые анизотропные пластины и оболочки с концентраторами напряжений / Б.Л. Пелех, В.А. Лазько. – К.: Наук. думка, 1982. – 296 с.
2. Трещев А.А. Деформирование ортотропных пластин с учетом поперечных сдвигов и нелинейной зависимости механических свойств композитного материала от вида напряженного состояния / А.А. Трещев, Н.С. Ющенко, И.А. Захарова, И.А. Судакова // Строит. механика и конструкции. – 2022. – № 3 (34). – С. 49–70.
3. Bokov I. Analysis of fundamental solutions to the equations of statics constructed for transversal-isotropic plates / I. Bokov, N. Bondarenko, E. Strelnikova // East-Eur. J. Enterp. Technol. – 2017. – 2/7 (86). – P. 4–12.
4. Шевченко В.П. Термоупругость локально нагретых ортотропных оболочек / В.П. Шевченко, А.С. Гольцев // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Механіка. – 2001. – Вип. 4, Т. 1. – С. 208–213.

## ПОСТРОЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МАТРИЦЫ ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩИХ СИЛ ДЛЯ ОРТОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ НАЛИЧИИ «ГИПОТЕТИЧЕСКОГО» МОДУЛЯ СДВИГА НА БАЗЕ ОБОБЩЁННОЙ ТЕОРИИ

*Бондаренко Н.С.*, канд. физ.-мат. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*n.bondarenko@donnu.ru*

**Введение.** Общепринятая классическая теория пластин и оболочек даёт недостаточно точное представление о напряжённо-деформированном состоянии (НДС) тонкостенных элементов конструкций, материалы которых обладают резкой анизотропией упругих свойств. В данной работе в качестве базовой модели для определения НДС ортотропной пластины используется обобщённая теория в варианте  $\{1,0\}$ -аппроксимации [1].

Целью работы является построение фундаментальной матрицы обобщённых перерезывающих сил в ортотропной пластине при действии сосредоточенной силы, вызывающей состояние изгиба, на базе обобщённой теории. Об актуальности определения НДС ортотропных пластин с использованием математических моделей, более точных, чем теория Кирхгофа, свидетельствуют современные публикации [2, 3].

**Постановка задачи.** Рассмотрим ортотропную пластину толщины  $2h$  в безразмерной системе координат  $x_1, x_2, x_3$ , определённых с точностью до полутолщины пластины  $h$ . Пластина подвержена действию сосредоточенной силы, приложенной в начале координат.

Компоненты вектора объёмной силы имеют вид:

$$F_i(x_1, x_2, x_3) = \frac{3}{2} m_i(x_1, x_2) P_1(x_3) \quad (i = 1, 2); \quad F_3(x_1, x_2, x_3) = \frac{1}{2} q(x_1, x_2) P_0(x_3),$$

где  $P_0(x_3) = 1$ ,  $P_1(x_3) = x_3$  – полиномы Лежандра.

Предполагаем, что линия внешней границы пластины находится на значительном удалении от места приложения сосредоточенной силы.

В качестве разрешающей взята система уравнений статики для ортотропной пластины на базе обобщённой теории в варианте  $\{1,0\}$ -аппроксимации [1]:

$$L_{i1}\gamma_1 + L_{i2}\gamma_2 + L_{i3}w_0 = -m_i \quad (i = 1, 2); \quad L_{31}\gamma_1 + L_{32}\gamma_2 + L_{33}w_0 = q, \quad (1)$$

где  $\gamma_1, \gamma_2$  – аналоги углов поворота нормали,  $w_0$  – аналог прогиба срединной поверхности;  $L_{ij}$  – дифференциальные операторы второго порядка, например:

$$L_{11} = D_1 \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + D_{12} \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} - \Lambda_1; \quad L_{22} = D_{12} \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + D_2 \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} - \Lambda_2;$$

$$\Lambda_j = \frac{5G_{j3}}{3\sqrt{E_1E_2}}; D_1 = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{E_1}{E_2}} \frac{1}{1-\nu_{12}\nu_{21}}; D_2 = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{E_2}{E_1}} \frac{1}{1-\nu_{12}\nu_{21}}; D_{12} = \frac{2G_{12}}{3\sqrt{E_1E_2}};$$

$E_1, E_2$  – модули Юнга для направлений  $x_1, x_2$  соответственно;  $\nu_{12}, \nu_{21}$  – коэффициенты Пуассона ( $E_2\nu_{12} = E_1\nu_{21}$ );  $G_{12}, G_{13}, G_{23}$  – модули сдвига, характеризующие изменение углов между главными направлениями  $x_1$  и  $x_2, x_1$  и  $x_3, x_2$  и  $x_3$  соответственно.

После решения системы (1) обобщённые изгибающие моменты  $M_{1,2}$ , крутящий момент  $H_{12}$  и обобщённые перерезывающие силы  $Q_{1,2}$  определяются из системы уравнений равновесия:

$$\frac{\partial M_1}{\partial x_1} + \frac{\partial H_{12}}{\partial x_2} - Q_1 + m_1 = 0; \quad \frac{\partial M_2}{\partial x_2} + \frac{\partial H_{12}}{\partial x_1} - Q_2 + m_2 = 0; \quad \frac{\partial Q_1}{\partial x_1} + \frac{\partial Q_2}{\partial x_2} + q = 0. \quad (2)$$

Предполагаем, что имеет место «гипотетический» модуль сдвига:

$$G_{12} = \frac{\sqrt{E_1E_2}}{2(1 + \sqrt{\nu_{12}\nu_{21}})}.$$

**Методика решения.** В силу линейности системы дифференциальных уравнений (1), (2) каждую из компонент сосредоточенной силы можно рассматривать поочерёдно. Тогда общее решение задачи можно представить в виде суммы трёх решений, соответствующих таким случаям нагружения пластины:

а)  $m_1(x_1, x_2) = \delta(x_1, x_2); m_2(x_1, x_2) = 0; q(x_1, x_2) = 0;$

б)  $m_1(x_1, x_2) = 0; m_2(x_1, x_2) = \delta(x_1, x_2); q(x_1, x_2) = 0;$

в)  $m_1(x_1, x_2) = 0; m_2(x_1, x_2) = 0; q(x_1, x_2) = \delta(x_1, x_2),$

где  $\delta(x_1, x_2)$  – двумерная дельта-функция Дирака.

Фундаментальные решения системы (1), (2) с правыми частями а)-в) получены с помощью двумерного интегрального преобразования Фурье и методики обращения, основанной на применении специальной  $G$ -функции [4].

Фундаментальная матрица перерезывающих сил имеет вид:

$$\begin{pmatrix} Q_1^{01} & Q_2^{01} \\ Q_1^{02} & Q_2^{02} \\ Q_1^{03} & Q_2^{03} \end{pmatrix}.$$

Здесь  $Q_j^{0m}$  – компонента перерезывающей силы  $Q_j$  в случае действия единичной сосредоточенной силы в направлении  $m$ -й координаты;

$$Q_j^{0m} = \Lambda_j \left( \sum_{k=0}^{11} \alpha_{jk}^m \Psi_k + \sum_{k=0}^{11} \alpha_{3k}^m \frac{\partial \Psi_k}{\partial x_j} \right), \quad (3)$$

где  $\alpha_{jk}^m$  – коэффициенты, зависящие от упругих постоянных ортотропного материала.

В формуле (3) выражения для функций  $\Psi_0 - \Psi_6$  получены в замкнутом виде, например:

$$\Psi_6 = -\frac{1}{4} \sqrt{\frac{\Lambda_1 \Lambda_2}{D_1 D_2}} \sin 2\varphi,$$

где

$$r = \sqrt{\frac{x_1^2}{\sqrt{D_1}} + \frac{x_2^2}{\sqrt{D_2}}}; \quad \cos \varphi = \frac{x_1}{\sqrt[4]{D_1} r}; \quad \sin \varphi = \frac{x_2}{\sqrt[4]{D_2} r}.$$

В то же время функции  $\Psi_7 - \Psi_{11}$  представляют собой ряды, например:

$$\Psi_9 = -\frac{\sqrt{\Lambda_1 \Lambda_2}}{2\pi} r_0^2 \sum_{n=1}^{\infty} I_{9,n} \sin 2n\varphi_0 G_{n+1,n-1} \left( \sqrt{\frac{\Lambda_1 \Lambda_2}{D_{12}}} r_0 \right),$$

где  $G_{n+1,n-1}(z)$  – специальная  $G$ -функция [4];

$$r_0 = \sqrt{\frac{x_1^2}{\Lambda_1} + \frac{x_2^2}{\Lambda_2}}; \quad \cos \varphi_0 = \frac{x_1}{\sqrt{\Lambda_1} r_0}; \quad \sin \varphi_0 = \frac{x_2}{\sqrt{\Lambda_2} r_0};$$

$$I_{9,n} = \int_0^{\pi/2} \frac{\sin 2\theta \sin 2n\theta d\theta}{\left( \Lambda_2 \sqrt{D_1} \cos^2 \theta + \Lambda_1 \sqrt{D_2} \sin^2 \theta \right)^2}.$$

**Заключение.** Описанная в работе методика решения задач статики позволяет выполнять расчёты НДС пластин из ортотропного материала на базе обобщённой теории. Материалы данной работы могут дать дополнительную информацию о внутренних силовых факторах в ортотропной пластине и будут полезны при проведении численных исследований НДС таких пластин.

*Исследование проводилось по теме государственного задания (№ госрегистрации 1023031000025-7-1.1.1;1.1.2).*

### Список литературы

1. Пелех Б.Л. Слоистые анизотропные пластины и оболочки с концентраторами напряжений / Б.Л. Пелех, В.А. Лазько. – К.: Наук. думка, 1982. – 296 с.
2. Трещев А.А. Изгиб ортотропных пластин средней толщины с учетом зависимости материальных параметров от вида напряженного состояния / А.А. Трещев, Ю.А. Завьялова, М.А. Лапшина // Строит. механика и конструкции. – 2022. – № 1 (32). – С. 7–28.
3. Шешенин С.В. Асимптотическое исследование изгиба пластины для сильно ортотропного материала / С. В. Шешенин, Р. Р. Мурадханов // Изв. РАН. МТТ. – 2023. – № 3. – С. 36–57.
4. Хижняк В.К. Смешанные задачи теории пластин и оболочек: учеб. пособие / В.К. Хижняк, В.П. Шевченко. – Донецк: ДонГУ, 1980. – 128 с.

**ВЛИЯНИЕ ДВОЙНОЙ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ  
НЕОДНОРОДНОСТИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ  
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНЫ ЛЯВА В ОДНОРОДНОМ  
ИЗОТРОПНОМ СЛОЕ НА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНОМ  
ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ**

*Глухов А.А., Сторожев В.И.*, д-р техн. наук, проф.,  
*Фоменко М.В.*, канд. физ.-мат. наук  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*stvi@donnu.ru*

**Введение.** Результаты исследований процессов распространения сейсмоакустических упругих волн в массивах горных пород указывают на то, что важным элементом достижения адекватности математических моделей является учет непрерывной неоднородности физико-механических свойств горных пород по направлению от граничной поверхности вглубь, а также асимптотический выход данных свойств на стабильные значения в глубине массива. Подобные свойства волновода можно достаточно точно описать, предположив, что для каждой из его физико-механических характеристик реализуется двойной экспоненциальный закон изменения значений вдоль ориентированной вглубь полупространства координате. Интегрированию волнового уравнения для сред с данным типом неоднородности посвящена работа [1]. Результаты работы [1] позволяют получить дисперсионное соотношение для волн Лява в волноводе, представленном упругими однородным изотропным слоем и подстилающим его функционально-градиентным трансверсально-изотропным полупространством с двойной экспоненциальной неоднородностью. Цель настоящей работы – анализ эффектов переноса энергии при распространении волн Лява в волноводах вышеуказанной структуры на базе использования результатов исследований, изложенных в [1], а также оценка влияния на исследуемые энергетические характеристики параметров двойных экспоненциальных функций.

**Анализ влияния неоднородности полупространства на параметры плотности потоков мощности при распространении волн Лява.** На основе получения дисперсионного уравнения для волн Лява в волноводе рассматриваемого типа с использованием результатов работы [1] и определения его корней  $k(\omega)$ , амплитудные формы соответствующих волновых движений в компонентах волновода и отвечающие им амплитудные характеристики динамических напряжений с точностью до нормирующего масштабного множителя  $A$  могут быть рассчитаны по формулам

$$u_{20}^{(c)}(x_3) = A(\cos(k\vartheta x_3) + (c_{44}^{(c)}k\vartheta \sin(k\vartheta H) / c_{44}^{(c)}k\vartheta \cos(k\vartheta H) \sin(k\vartheta x_3)),$$

$$u_{20}^{(n)}(x_3) = A(1 / f_-(0))f_-(x_3), \quad (1)$$

$$\sigma_{230}^{(c)} = -A(\mu k \vartheta \sin(k \vartheta x_3) + (c_{44}^{(c)} k \vartheta \sin(k \vartheta H) / c_{44}^{(c)} k \vartheta \cos(k \vartheta H) \mu k \vartheta \cos(k \vartheta x_3)),$$

$$\sigma_{230}^{(n)}(x_3) = A_3 c_{44}^{(n)} \exp(\lambda \exp(-\beta x_3)) f'_-(x_3), \quad (2)$$

в которых  $f_-(x_3)$  – функция с представлением, полученным в [1]; верхним индексом  $(n)$  отмечены характеристики волновых полей в полупространстве и индексом  $(c)$  – характеристики волновых полей в слое. В выражениях (1) – (2)

$$c_{66n}^{(n)}(x_3) = c_{66}^{(n)} \cdot \phi(\lambda, \beta, x_3), \quad c_{44n}^{(n)}(x_3) = c_{44}^{(n)} \cdot \phi(\lambda, \beta, x_3),$$

$$\rho^{(n)}(x_3) = \rho_0^{(n)} \cdot \phi(\lambda, \beta, x_3), \quad \phi(\lambda, \beta, x_3) = \exp(\lambda \exp(-\beta x_3));$$

$c_{66}^{(n)}$ ,  $c_{44}^{(n)}$ ,  $\rho_0^{(n)}$  – параметры функционально-градиентного материала полупространства;  $\lambda, \beta$  – введенные в работе [1] действительные параметры неоднородности;  $\mu, \rho^{(c)}$  – параметр Ламе и плотность однородного материала слоя толщины  $H$ .

Вектор-функция плотности среднего за период потока мощности рассматриваемых волновых движений на различных глубинах в материале слоя и полупространства в рассматриваемом случае имеет единственную ненулевую компоненту  $\bar{P}_1$ , задаваемую исходным представлением

$$\bar{P}_1 = -\frac{i\omega}{4} (\sigma_{120} u_{20}^* - \sigma_{120}^* u_{20}), \quad (3)$$

где в данном случае  $*$  – знак комплексного сопряжения, а характеристики волновых перемещений и напряжений для точек слоя и полупространства в (3) соответственно определяются выражениями (1).

Расчетный анализ распределений плотности среднего за период потока мощности в волнах Лява с применением соотношений (1) – (3) реализован применительно к волноводу со следующими величинами физико-механических и геометрических характеристик

$$H = 20 \text{ м}, \quad \mu = 14 \text{ МПа}, \quad \rho^{(c)} = 1650 \text{ кг/м}^3, \quad c_{66}^{(n)} = c_{44}^{(n)} = 38 \text{ МПа},$$

$$\rho_0^{(n)} = 1800 \text{ кг/м}^3.$$

Рассчитанная зависимость относительных амплитуд  $P^* = \bar{P}_1(x_3) / \bar{P}_1(0)$  вектора плотности потока мощности волны Лява в слое  $-H \leq x_3 \leq 0$  и полупространстве  $x_3 \geq 0$  в зависимости от относительной глубины ( $x_3 / \lambda_*$ , где  $\lambda_*$  – длина волны Лява) показана ниже на рис.1. Сплошной линией изображен график для случая, когда однородного подстилающего полупространства, а пунктиром – для неоднородного полупространства среды с параметрами  $\lambda = 0.4, \beta = 10.0$  локализованной неоднородности.

**Заключение.** В результате исследования получены расчетные соотношения для распределений плотности среднего за период потока

мощности в волнах Лява, распространяющихся в однородном изотропном слое на подстилающем функционально-градиентном трансверсально-изотропным полупространством, непрерывная неоднородность по толщине которого задается двойными экспоненциальными функциями.

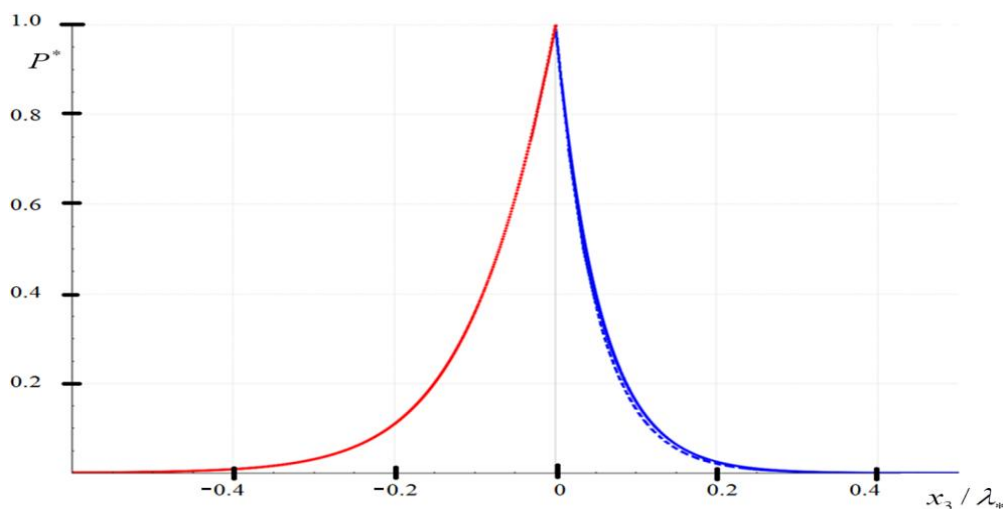


Рис. 1. Распределение плотности потока мощности по толщине волновода

На основе численных исследований установлено, что фактор неоднородности материала подстилающего полупространства в рассмотренном диапазоне варьирования параметров двойного экспоненциального закона изменения его физико-механических свойств по толщине не оказывает существенного влияния на формы и интенсивности анализируемых распределений, и в незначительной мере увеличивает темп затухания плотности потока энергии при углублении в подстилающее полупространство от границы соприкосновения со слоем.

*Исследования проводились в ФГБОУ ВО «ДонГУ» в рамках государственного задания (№ госрегистрации 1023030100040-4-1.1.2;2.3.1).*

### Список литературы

1. Болнокин В.Е. Анализ модели распространения сдвиговых упругих волн в полубесконечном трансверсально-изотропном функционально-градиентном геомассиве / В.Е. Болнокин, А.А. Глухов, В.И. Сторожев. // Журн. теорет. и прикладной механики. – 2022. – № 3 (80). – С. 14–19. – doi:10.24412/0136-4545-2022-3-14-19. – EDN BOBABC.
2. Ezzin H. Love waves propagation in a transversely isotropic piezoelectric layer on a piezomagnetic half-space / H. Ezzin, B.A. Morched, M.H.B. Ghazlen // Ultrasonics. – 2016. – Vol. 69. – P. 83–89.
3. Позняк Е.В. Моделирование пространственно-временного поля волн Лява по акселерограмме / Е.В. Позняк // Строительство и реконструкция. – 2017. – № 6 (74). – С. 32–42.
4. Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах / И.А. Викторов. – М.: Наука, 1981. – 142 с.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОСВЯЗНОЙ ПОЛУПЛОСКОСТИ ИЛИ ПОЛОСЫ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРАЛОВ ТИПА КОШИ

*Глушанков Е.С.*, канд. физ.-мат. наук,

*Миرونенко А.Б.*, канд. физ.-мат. наук

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*evgenij.glushankov@gmail.com*

С использованием комплексных потенциалов, метода интегралов типа Коши, представления голоморфных функций в виде рядов Лорана и удовлетворения граничным условиям на контурах обобщенным методом наименьших квадратов задача об определении напряженного состояния многосвязной анизотропной полуплоскости или полосы пластинки сведена к решению переопределенной системы линейных алгебраических уравнений методом сингулярных разложений. Численные исследования проведены для полуплоскости или полосы с отверстиями различной геометрии, в том числе выходящими на прямолинейные границы.

**Постановка и решение задачи.** Рассматривается полуплоскость или полоса из анизотропного материала с произвольно расположенными эллиптическими отверстиями и трещинами с контурами  $L_l$  ( $l = \overline{1, \mathcal{L}}$ ), которые могут пересекаться друг с другом или выходить на горизонтальные прямолинейные границы. На бесконечности полуплоскость подвергается растяжению, на участке  $[\alpha^+, \beta^+]$  верхней прямолинейной границы действует давление, определяемое вектором  $(X_n^+, Y_n^+)$ . Будем полагать, что компоненты главных векторов усилий, приложенных к контурам отверстий, равны нулю.

Для определения напряженного состояния многосвязной полуплоскости или полосы используются комплексные потенциалы  $\Phi_k(z_k)$  ( $k = \overline{1, 2}$ ) обобщенных комплексных переменных  $z_k = x + \mu_k y$ , где  $\mu_k$  – корни характеристического полинома четвертого порядка, коэффициентами которого являются коэффициенты деформации материала пластинки.

Функции  $\Phi_k(z_k)$  определены в многосвязных областях  $S_k$ , получаемых из области  $S$ , занимаемой пластинкой, аффинными преобразованиями  $z_k = x + \mu_k y$ . Если контуры отверстий и трещин целиком лежат внутри полуплоскости, то при удовлетворении граничным условиям на прямолинейной границе удобно использовать метод интегралов типа Коши [1, 2]. С учетом того, что отверстия и трещины могут выходить на прямолинейные границы, после соответствующих конформных отображений и разложений в ряды Лорана производные функций  $\Phi_k(z_k)$  обретают вид [1, 2]:

– для полуплоскости:

$$\Phi'_k(z_k) = \Gamma_k + F_k'^+(z_k) + \sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \varphi'_{kln}(z_k) a_{kln} - \bar{r}_{1k} \varphi'_{kln}(z_k) \bar{b}_{kln} - \right. \\ \left. - \bar{r}_{2,k+1} \varphi'_{k+1ln}(z_k) \bar{b}_{k+1ln} \right], \quad (1)$$

– для полосы:

$$\Phi'_k(z_k) = \Gamma_k + F_k'^+(z_k) + \sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \varphi'_{kln}(z_k) a_{kln} - \bar{r}_{1k} \varphi'_{kln}(z_k) \bar{b}_{kln} - \right. \\ \left. - \bar{r}_{2,k+1} \varphi'_{k+1ln}(z_k) \bar{b}_{k+1ln} - \bar{r}_{1k} \varphi'_{kln}(z_k) \bar{c}_{kln} - \bar{r}_{2,k+1} \varphi'_{k+1ln}(z_k) \bar{c}_{k+1ln} \right]. \quad (2)$$

Здесь  $\Gamma_k$  – постоянные, определяемые из условий на бесконечности;

$$F_k'^+(z_k) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{L^+} \frac{f_k'^+(t) dt}{t - z_k}, \\ f_k'^+(t) = \begin{cases} -\frac{X_n^+ + \mu_{k+1} Y_n^+}{\mu_k - \mu_{k+1}} & \text{на отрезке } [\alpha^+, \beta^+], \\ 0 & \text{вне отрезка } [\alpha^+, \beta^+]; \end{cases}$$

$\bar{r}_{1k}$ ,  $\bar{r}_{2,k+1}$  – известные постоянные;  $\varphi'_{kln}(z_k)$ ,  $\varphi'_{k+jln}(z_k)$ ,  $\varphi'_{k+jln}(z_k)$  – известные функции, связанные с комплексными переменными, определяемыми из соответствующих конформных отображений;  $a_{kln}$ ,  $b_{kln}$ ,  $c_{kln}$  – неизвестные постоянные, определяемые из граничных условий на контурах пластинки.

Неизвестные постоянные  $a_{kln}$ ,  $b_{kln}$ ,  $c_{kln}$  определяются с помощью обобщенного метода наименьших квадратов. На каждом из контуров  $L_p$  ( $p = \overline{1, \mathcal{L}+1}$  для полуплоскости,  $p = \overline{1, \mathcal{L}+2}$  для полосы; контурам  $L_{\mathcal{L}+1}$ ,  $L_{\mathcal{L}+2}$  соответствуют прямолинейные границы полосы) выберем  $M_p$  «коллокационных» точек. Тогда для определения этих постоянных получается система линейных алгебраических уравнений [2]:

– для полуплоскости:

$$2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} g_{ikp} \delta_{k,s} \left[ \varphi'_{kln}(t_{kpm}) a_{kln} - \bar{r}_{1k} \varphi'_{kln}(t_{kpm}) \bar{b}_{kln} - \right. \\ \left. - \bar{r}_{2,k+1} \varphi'_{k+1ln}(t_{kpm}) \bar{b}_{k+1ln} \right] = -2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 \delta_{k,s} \left[ \Gamma_k + \right. \\ \left. + F_k'^+(t_{kpm}) \right] \quad (i = 1, 2; p = \overline{1, \mathcal{L}+1}; m = \overline{1, M_p}). \quad (3)$$

– для полосы:

$$\begin{aligned}
& 2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} g_{ikp} \delta_{k,s} \left[ \Phi'_{kln}(t_{kpm}) a_{kln} - \bar{r}_{1k} \Phi'^+_{kln}(t_{kpm}) \bar{b}_{kln} - \right. \\
& \left. - \bar{r}_{2,k+1} \Phi'^+_{k+1ln}(z_k) \bar{b}_{k+1ln} - \bar{r}_{1k} \Phi'^-_{kln}(t_{kpm}) \bar{c}_{kln} - \bar{r}_{2,k+1} \Phi'^-_{k+1ln}(t_{kpm}) \bar{c}_{k+1ln} \right] = \\
& = -2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 \delta_{k,s} \left[ \Gamma_k + F_k'^+(t_{kpm}) + F_k'^-(t_{kpm}) \right] \\
& \quad \left( i = 1, 2; p = \overline{1, \mathcal{L} + 2}; m = \overline{1, M_p} \right). \tag{4}
\end{aligned}$$

$g_{ikp}$  – известные постоянные, определяемые типом граничных условий;  $t_{kpm}$  – аффиксы «коллокационных» точек. После нахождения псевдорешения системы (3) или (4) методом сингулярного разложения постоянные  $a_{kln}$ ,  $b_{kln}$ ,  $c_{kln}$ , а, следовательно, и комплексные потенциалы будут известными и можно вычислять напряжения по известным формулам в любой точке полосы. При этом, если некоторый эллипс  $L_l$  переходит в прямолинейный разрез-трещину, то можно определять и коэффициенты интенсивности напряжений на его концах, используя известные формулы.

**Описание результатов численных исследований.** Исследования показывают, что при растяжении полуплоскости или полосы с круговым отверстием взаимовлияние отверстия и прямолинейных границ значительно, начиная с ширины перемычек, равных радиусу отверстия. При этом с уменьшением ширины перемычек значения напряжений около контура отверстия резко возрастают. В случае полосы, если ширина одной из перемычек больше диаметра отверстия, то взаимовлияние отверстия и соответствующей прямолинейной границы незначительно, им можно пренебречь и рассматривать полосу как полуплоскость с отверстием, а если ширина обеих перемычек превышает диаметр отверстия – как бесконечную пластинку с отверстием. В случае сильно анизотропной полосы концентрация напряжений около контура отверстия значительно выше, чем в случае изотропной и возникает в различных зонах, в зависимости от направления жестких (мягких) волокон материала. Аналогичные закономерности имеют место для напряжений и КИН в случае полуплоскости или полосы с трещиной, с отверстием и краевой трещиной.

*Исследования проводились в ФГБОУ ВО ДонГУ в рамках государственного задания (№ госрегистрации 1023030100040-4-1.1.2;2.3.1).*

### Список литературы

1. Калоеров С.А. Общее решение задачи теории упругости для многосвязной полуплоскости и его приложение к решению частных задач / С.А. Калоеров, Е.С. Глушанков, А.Б. Мироненко // Вестн. Донец. нац. ун-та. Сер. А: Естеств. науки. – 2022. – № 1. – С. 41–52.
2. Калоеров С.А. Решение задач теории упругости для многосвязных полуплоскости и полосы / С.А. Калоеров, Е.С. Глушанков, А.Б. Мироненко // Изв. РАН. МГТ. – 2023. – № 4. – С. 23–37.

## НОРМАЛЬНЫЕ ОКРУЖНЫЕ ВОЛНЫ ИЗГИБА В ЧАСТИЧНО ЛЕЖАЩЕЙ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ КОЛЬЦЕВОЙ ПЛАСТИНЕ

*Глущенко А.В., Дубяго Л.В., Пачева М.Н.*, канд. физ.-мат. наук,  
*Сторожев В.И.*, д-р техн. наук, проф.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*stvi@donnu.ru*

**Введение.** Представляющее интерес для приложений в акустоэлектронике, механике конструкций и ультразвуковой дефектоскопии и представленное в работах [1–5] теоретическое численно-аналитическое исследование спектров и свойств нормальных волн изгиба, распространяющихся вдоль окружного углового направления в тонких пластинах концентрической кольцевой формы, в рамках применения прикладной теории динамического изгибного деформирования и при учете ряда предположений об особенностях строения волноводов, о типах материалов, из которых составлены пластины, о задании различных вариантов краевых условий на плоских гранях, внутреннем и внешнем контурах пластины, продолжает сохранять целый ряд актуальных не рассматривавшихся аспектов в постановке задач. К их числу относится предположение о частичном контакте плоской грани пластины-волновода с упругим основанием Винклера, расширяющее спектр поиска конструктивных решений для формирования требуемых волноводных свойств.

В этой связи, целью данной работы является разработка алгоритма получения дисперсионного соотношения для нормальных волн изгиба, распространяющихся вдоль окружного углового направления в тонких изотропных пластинах концентрической кольцевой формы в условиях, когда примыкающая к внутреннему граничному контуру кольцевая подобласть заданных размеров на плоской грани контактирует с линейным упругим основанием Винклера, а оставшаяся часть грани свободна.

**Алгоритм получения дисперсионного определителя.** Для срединной плоскости  $S$  рассматриваемой кольцевой пластины в полярных координатах  $Or\theta$  вводится описание

$$S = S_1 \cup S_2, S_1 = \{R_1 \leq r \leq R_*, 0 \leq \theta < 2\pi\}, S_2 = \{R_* < r \leq R_2, 0 \leq \theta < 2\pi\},$$

где  $S_1$  – кольцевая подобласть пластины, на которой она контактирует с линейным упругим основанием Винклера,  $S_2$  – подобласть в которой плоские грани тонкой пластины свободны от воздействий. На внутреннем и внешнем граничных контурах пластины  $r = R_j$  задаются условия жесткого закрепления края, а контур  $r = R_*$  определяет боковую поверхность идеального механического контакта составных частей  $S_1$  и  $S_2$ .

Для амплитудных решений уравнений распространения нормальных изгибных волн вдоль окружных угловых направлений в составных элементах рассматриваемой пластины, согласно результатам работ [2, 3], могут быть соответственно введены представления в цилиндрических функциях:

$$\begin{aligned} w_{10}(r, \theta) &= (a_{11}J_k(\lambda_1 r) + a_{12}Y_k(\lambda_1 r) + a_{13}I_k(\lambda_1 r) + a_{14}K_k(\lambda_1 r)) \exp(-i(\omega t - k\theta)), \\ \lambda_1 &= ((\zeta - \rho h \omega^2) / D)^{1/4}, \\ w_{20}(r, \theta) &= (a_{21}J_k(\lambda_2 r) + a_{22}Y_k(\lambda_2 r) + a_{23}I_k(\lambda_2 r) + a_{24}K_k(\lambda_2 r)) \exp(-i(\omega t - k\theta)), \\ \lambda_2 &= (-\rho h \omega^2 / D)^{1/4}. \end{aligned} \quad (1)$$

В соотношениях (1)  $\rho$  – плотность материала пластины,  $h$  – толщина пластины,  $D$  – параметр цилиндрической изгибной жесткости,  $\omega$  – циклическая частота исследуемых нормальных волн,  $k$  – волновое число,  $\zeta$  – параметр жесткости линейного упругого основания Винклера. Постоянные коэффициенты  $a_{1n}, a_{2n}$  ( $n = \overline{1, 4}$ ) подлежат определению из системы линейных алгебраических уравнений, порождаемых граничными условиями на внешнем и внутреннем контурах пластины и на линии разграничения подобластей, контактирующих и не контактирующих с упругим основанием:

$$\begin{aligned} [w_{j0}(r, \theta)]_{r=R_j, \theta \in [0, 2\pi]} &= 0, \quad [\partial / \partial r \cdot w_{j0}(r, \theta)]_{r=R_j, \theta \in [0, 2\pi]} = 0 \quad (j = \overline{1, 2}); \\ [w_{10}(r, \theta)]_{r=R_*, \theta \in [0, 2\pi]} &= [w_{20}(r, \theta)]_{r=R_*, \theta \in [0, 2\pi]}, \quad [\partial / \partial r \cdot w_{10}(r, \theta)]_{r=R_*, \theta \in [0, 2\pi]} = [\partial / \partial r \cdot w_{20}(r, \theta)]_{r=R_*, \theta \in [0, 2\pi]}, \\ &[(\partial^2 / \partial r^2 + \nu r^{-1} \partial / \partial r + \nu r^{-2} \partial^2 / \partial \theta^2) w_{10}(r, \theta)]_{r=R_*, \theta \in [0, 2\pi]} = \\ &= [(\partial^2 / \partial r^2 + \nu r^{-1} \partial / \partial r + \nu r^{-2} \partial^2 / \partial \theta^2) w_{20}(r, \theta)]_{r=R_*, \theta \in [0, 2\pi]}, \\ &[(\partial^3 / \partial r^3 + r^{-1} \partial^2 / \partial r^2 - r^{-2} \partial / \partial r - 2r^{-3} \partial^2 / \partial \theta^2 + r^{-2} \partial^3 / \partial r \partial \theta^2) w_{10}(r, \theta)] + \\ &+ (1 - \nu_1) R_*^{-1} [(r^{-1} \partial^3 / \partial r \partial \theta^2 - r^{-2} \partial^2 / \partial \theta^2) w_{10}(r, \theta)]_{r=R_*, \theta \in [0, 2\pi]} = \\ &[(\partial^3 / \partial r^3 + r^{-1} \partial^2 / \partial r^2 - r^{-2} \partial / \partial r - 2r^{-3} \partial^2 / \partial \theta^2 + r^{-2} \partial^3 / \partial r \partial \theta^2) w_{20}(r, \theta)] + \\ &+ (1 - \nu_2) R_*^{-1} [(r^{-1} \partial^3 / \partial r \partial \theta^2 - r^{-2} \partial^2 / \partial \theta^2) w_{20}(r, \theta)]_{r=R_*, \theta \in [0, 2\pi]}. \end{aligned} \quad (2)$$

При подстановке представлений (1) в краевые условия в виде равенства нулю определителя системы линейных алгебраических уравнений восьмого порядка формируется искомое трансцендентное дисперсионное уравнение для нормальных волн исследуемого типа:

$$\begin{aligned} F(k, \omega) &= \det \|\mathcal{G}_{qp}(k, \omega)\| \quad (q, p = \overline{1, 8}), \\ \mathcal{G}_{1p}(k, \omega) &= \mathcal{G}_{2p}(k, \omega) = 0 \quad (p = \overline{5, 8}); \quad \mathcal{G}_{7p}(k, \omega) = \mathcal{G}_{8p}(k, \omega) = 0 \quad (p = \overline{1, 4}); \\ \mathcal{G}_{11}(k, \omega) &= J_k(\lambda_1 R_1), \quad \mathcal{G}_{12}(k, \omega) = Y_k(\lambda_1 R_1), \quad \mathcal{G}_{13}(k, \omega) = I_k(\lambda_1 R_1), \quad \mathcal{G}_{14}(k, \omega) = K_k(\lambda_1 R_1), \\ \mathcal{G}_{75}(k, \omega) &= J_k(\lambda_2 R_2), \quad \mathcal{G}_{76}(k, \omega) = Y_k(\lambda_2 R_2), \quad \mathcal{G}_{77}(k, \omega) = I_k(\lambda_2 R_2), \quad \mathcal{G}_{78}(k, \omega) = K_k(\lambda_2 R_2), \\ \mathcal{G}_{21}(k, \omega) &= \alpha_{11}(R_1), \quad \mathcal{G}_{22}(k, \omega) = \beta_{11}(R_1), \quad \mathcal{G}_{23}(k, \omega) = \eta_{11}(R_1), \quad \mathcal{G}_{24}(k, \omega) = \zeta_{11}(R_1), \\ \mathcal{G}_{85}(k, \omega) &= \alpha_{12}(R_2), \quad \mathcal{G}_{86}(k, \omega) = \beta_{12}(R_2), \quad \mathcal{G}_{87}(k, \omega) = \eta_{12}(R_2), \quad \mathcal{G}_{88}(k, \omega) = \zeta_{12}(R_2), \\ \mathcal{G}_{31}(k, \omega) &= J_k(\lambda_1 R_*), \quad \mathcal{G}_{32}(k, \omega) = Y_k(\lambda_1 R_*), \quad \mathcal{G}_{33}(k, \omega) = I_k(\lambda_1 R_*), \quad \mathcal{G}_{34}(k, \omega) = K_k(\lambda_1 R_*), \\ \mathcal{G}_{35}(k, \omega) &= -J_k(\lambda_2 R_*), \quad \mathcal{G}_{36}(k, \omega) = -Y_k(\lambda_2 R_*), \quad \mathcal{G}_{37}(k, \omega) = -I_k(\lambda_2 R_*), \quad \mathcal{G}_{38}(k, \omega) = -K_k(\lambda_2 R_*); \\ \mathcal{G}_{41}(k, \omega) &= \alpha_{11}(R_*), \quad \mathcal{G}_{42}(k, \omega) = \beta_{11}(R_*), \quad \mathcal{G}_{43}(k, \omega) = \eta_{11}(R_*), \quad \mathcal{G}_{44}(k, \omega) = \zeta_{11}(R_*), \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
& \mathcal{G}_{45}(k, \omega) = -\alpha_{12}(R_*) , \mathcal{G}_{46}(k, \omega) = -\beta_{12}(R_*) , \mathcal{G}_{47}(k, \omega) = -\eta_{12}(R_*) , \mathcal{G}_{48}(k, \omega) = -\zeta_{12}(R_*) ; \\
& \mathcal{G}_{51}(k, \omega) = -D(\alpha_{21}(R_*) + \nu R_*^{-1} \alpha_{11}(R_*) - \nu k^2 R_*^{-2}) , \mathcal{G}_{52}(k, \omega) = -D(\beta_{21}(R_*) + \nu R_*^{-1} \beta_{11}(R_*) - k^2 R_*^{-2}) , \\
& \mathcal{G}_{53}(k, \omega) = -D(\eta_{21}(R_*) + \nu R_*^{-1} \eta_{11}(R_*) - \nu k^2 R_*^{-2}) , \mathcal{G}_{54}(k, \omega) = -D(\zeta_{21}(R_*) + \nu R_*^{-1} \zeta_{11}(R_*) - \nu k^2 R_*^{-2}) , \\
& \mathcal{G}_{55}(k, \omega) = D(\alpha_{22}(R_*) + \nu R_*^{-1} \alpha_{12}(R_*) - \nu k^2 R_*^{-2}) , \mathcal{G}_{56}(k, \omega) = D(\beta_{22}(R_*) + \nu R_*^{-1} \beta_{12}(R_*) - \nu k^2 R_*^{-2}) , \\
& \mathcal{G}_{57}(k, \omega) = D(\eta_{22}(R_*) + \nu R_*^{-1} \eta_{12}(R_*) - \nu k^2 R_*^{-2}) , \mathcal{G}_{58}(k, \omega) = D(\zeta_{22}(R_*) + \nu R_*^{-1} \zeta_{12}(R_*) - \nu k^2 R_*^{-2}) ; \\
& \mathcal{G}_{61}(k, \omega) = D(\alpha_{31}(R_*) + R_*^{-1} \alpha_{21}(R_*) - R_*^{-2} \alpha_{11}(R_*) + 2k^2 R_*^{-3} - R_*^{-2} k^2 \alpha_{11}(R_*) + (1-\nu) R_*^{-2} k^2 (R_*^{-1} - \alpha_{11}(R_*))) , \\
& \mathcal{G}_{62}(k, \omega) = D(\beta_{31}(R_*) + R_*^{-1} \beta_{21}(R_*) - R_*^{-2} \beta_{11}(R_*) + 2k^2 R_*^{-3} - R_*^{-2} k^2 \beta_{11}(R_*) + (1-\nu) R_*^{-2} k^2 (R_*^{-1} - \beta_{11}(R_*))) , \\
& \mathcal{G}_{63}(k, \omega) = D(\eta_{31}(R_*) + R_*^{-1} \eta_{21}(R_*) - R_*^{-2} \eta_{11}(R_*) + 2k^2 R_*^{-3} - R_*^{-2} k^2 \eta_{11}(R_*) + (1-\nu) R_*^{-2} k^2 (R_*^{-1} - \eta_{11}(R_*))) , \\
& \mathcal{G}_{64}(k, \omega) = D(\zeta_{31}(R_*) + R_*^{-1} \zeta_{21}(R_*) - R_*^{-2} \zeta_{11}(R_*) + 2k^2 R_*^{-3} - R_*^{-2} k^2 \zeta_{11}(R_*) + (1-\nu) R_*^{-2} k^2 (R_*^{-1} - \zeta_{11}(R_*))) , \\
& \mathcal{G}_{65}(k, \omega) = -D(\alpha_{32}(R_*) + R_*^{-1} \alpha_{22}(R_*) - R_*^{-2} \alpha_{12}(R_*) + 2k^2 R_*^{-3} - R_*^{-2} k^2 \alpha_{12}(R_*) + (1-\nu) R_*^{-2} k^2 (R_*^{-1} - \alpha_{12}(R_*))) , \\
& \mathcal{G}_{66}(k, \omega) = -D(\beta_{32}(R_*) + R_*^{-1} \beta_{22}(R_*) - R_*^{-2} \beta_{12}(R_*) + 2k^2 R_*^{-3} - R_*^{-2} k^2 \beta_{12}(R_*) + (1-\nu) R_*^{-2} k^2 (R_*^{-1} - \beta_{12}(R_*))) , \\
& \mathcal{G}_{67}(k, \omega) = -D(\eta_{32}(R_*) + R_*^{-1} \eta_{22}(R_*) - R_*^{-2} \eta_{12}(R_*) + 2k^2 R_*^{-3} - R_*^{-2} k^2 \eta_{12}(R_*) + (1-\nu) R_*^{-2} k^2 (R_*^{-1} - \eta_{12}(R_*))) , \\
& \mathcal{G}_{68}(k, \omega) = -D(\zeta_{32}(R_*) + R_*^{-1} \zeta_{22}(R_*) - R_*^{-2} \zeta_{12}(R_*) + 2k^2 R_*^{-3} - R_*^{-2} k^2 \zeta_{12}(R_*) + (1-\nu) R_*^{-2} k^2 (R_*^{-1} - \zeta_{12}(R_*))) .
\end{aligned}$$

При этом в представлениях элементов дисперсионного определителя (3) фигурируют полученные в работе [5] достаточно громоздкие выражения  $\alpha_{pq}(R_*)$ ,  $\beta_{pq}(R_*)$ ,  $\eta_{pq}(R_*)$ ,  $\zeta_{pq}(R_*)$  ( $p, q = \overline{1, 3}$ ).

**Заключение.** В результате исследований получено аналитическое представление дисперсионного уравнения для нормальных изгибных волн в частично лежащей на упругом основании кольцевой пластине, в котором искомое волновое число фигурирует как алгебраические множители и входит в индексные выражения индексы специальных цилиндрических функций.

*Исследования проводились в ФГБОУ ВО ДонГУ в рамках государственного задания (№ госрегистрации 1023030100040-4-1.1.2; 2.3.1).*

### Список литературы

1. Тютюкин В.В. Волноводные свойства плоской кольцевой пластины. I. Изгибные волны. / В.В. Тютюкин // Акуст. журн. – 2003. – Т. 49, № 6. – С. 843–851.
2. Дубяго Л.В. Дисперсионный спектр упругих волн изгиба вдоль окружного направления в тонкой изотропной кольцевой пластине с жестко закрепленными либо шарнирно опертыми краями / Л.В. Дубяго, В.И. Сторожев // Журн. теорет. и прикладной механики. – 2019. – №4 (69). – С. 48–56.
3. Болнокин В.Е. Моды изгибных упругих волн в окружном направлении изотропной кольцевой пластины на упругом основании / В. Е. Болнокин, В. И. Сторожев, Л. В. Дубяго // Донецкие чтения 2020: Материалы V Междунар. научн. конф. (Донецк, 17-18 ноября 2020 г.). – Том 1. Часть 1. – Донецк: ДонНУ, 2020. – С. 35–38.
4. Болнокин В.Е. Изгибные волны в окружном направлении кольцевой трансверсально-изотропной пластины с закрепленными краями / В.Е. Болнокин, А.В. Глущенко, Л.В. Дубяго, В.И. Сторожев // Журн. теорет. и прикладной механики. – 2021. – № 4 (77). – С. 35–43.
5. Глущенко А.В. Окружные нормальные изгибные волны в кольцевой пластине с двумя разнородными концентрическими составляющими / А. В. Глущенко, Л. В. Дубяго, С. В. Сторожев, В. А. Шалдырван // Вестн. Донец. нац. ун-та. Сер. А: Естеств. науки. – 2023. – №1. – С. 12–20.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООБМЕНА НА ВОЗМУЩЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЛАСТИНЕ С ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННЫМ РАЗРЕЗОМ

*Гольцев А.С.*, д-р физ.-мат. наук, проф.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*a.goltsev@donnu.ru*

**Введение.** Многие современные установки, включающие тонкостенные элементы конструкций, эксплуатируются в условиях неравномерного нестационарного нагрева, что приводит к появлению и развитию температурных трещин. Для того чтобы оценить риски дальнейшей эксплуатации таких конструкций необходимо знать все закономерности и факторы, влияющие на дальнейшее развитие дефектов. Это задача термомеханики разрушения, которой и посвящена данная публикация.

**Цель публикации** – описать использование компьютерной модели теплоизолированной трещины для оценки влияния величины теплообмена с окружающей средой на возмущение температуры, вносимое трещиной.

**Основная часть.** Рассмотрим тонкую изотропную пластину толщиной  $2h$ , находящуюся в тепловом контакте с внешней средой. Начало декартовой системы координат в срединной плоскости ( $Ox_1x_2$ ) расположим в центре прямолинейного разреза  $L$ , который является математической моделью трещины. Разрез ориентирован по оси  $Ox_1$ . Рассмотрим симметричные условия теплообмена с внешней средой, когда параметры теплообмена на верхней и нижней лицевых поверхностях пластины одинаковы. В этом случае температура пластины ( $t$  или  $T$ ) не изменяется по толщине и определяется лишь интегральной характеристикой температуры  $T_1$  – средней температурой [1, 2].

$$t(x_1, x_2, x_3) = T(x_1, x_2) = T_1(x_1, x_2); \quad T_1(x_1, x_2) = \frac{1}{2h} \int_{-h}^h t(x_1, x_2, x_3) dx_3.$$

Постановка задачи теплопроводности по определению возмущения, вносимого трещиной, и построенная компьютерная модель возмущенного температурного поля в этом случае описана в трудах предыдущей конференции [3]. Задача сводится к решению следующего сингулярного интегрального уравнения типа Коши [4]:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \left\{ \frac{1}{x-y} + K(x, y) \right\} \psi(x) dx = -\frac{\partial T^0}{\partial n}(y), \quad (1)$$

$$\psi(x) = \frac{d[T]}{dx}, \quad |y| < 1,$$

где  $[T]$  – скачок температуры  $T$  на линии разреза;  $T^0$  – температура основного температурного поля, соответствующего сплошной пластине без разреза;  $n$  – нормаль к линии разреза. Ядро интегрального уравнения (1)  $K(x, y)$  имеет следующую структуру:

$$K(x, y) = -\frac{1}{2} \tau \cdot b \cdot \operatorname{sgn}(x - y) \cdot I_{1,0}^G(\tau \cdot b \cdot |x - y|)$$

$$\tau = \frac{l}{h}, \quad b = \sqrt{Bi}, \quad I_{1,0}^G(z) = \int_0^z G_{1,0}(s) ds,$$

где  $l$  – половина длины разреза;  $Bi$  – параметр теплообмена, критерий Био на лицевых поверхностях пластины;  $G_{1,0}(s)$  – специальная G-функция, подобная по своим свойствам функции Макдональда.

Решение уравнения (1) ищется с учетом дополнительного условия

$$\int_{-1}^1 \psi(x) dx = 0, \quad (2)$$

которое следует из непрерывности температуры на концах разреза.

Уравнение (1) с учётом дополнительно условия (2) решается численно методом механических квадратур или методом Мультиппа.

Далее необходимо определить скачок температуры на линии разреза исходя из смысла неизвестной функции  $\psi(x)$  и равенства нулю скачка температуры на концах разреза. Аналитически это определяется следующей формулой:

$$[T](x) = \int_{-1}^x \psi(s) ds.$$

Для определения возмущённой температуры в области используется интегральное представление для температуры, которое в данном случае имеет следующий вид:

$$T(x_1, x_2) = \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 D(x_1 - s, x_2) [T](s) ds. \quad (3)$$

Разностное ядро интегрального представления (3) имеет следующую структуру

$$D(x_1 - s, x_2) = \frac{x_2}{x_2^2 + (x_1 - s)^2} G_{0,1} \left( \tau \cdot b \sqrt{x_2^2 + (x_1 - s)^2} \right),$$

где  $G_{0,1}(s)$  – специальная G-функция. Формула (3) позволяет вычислить возмущённую температуру в локальной окрестности линии разреза.

Для визуализации влияния величины теплообмена на возмущённое температурное поле использована его компьютерная модель [3]. На одном рисунке построены поверхности распределения возмущённой



температуры, соответствующие следующим значениям параметра теплообмена  $Bi$ : 1 – 0,001 (обозначена зелёным цветом); 2 – 1,0 (обозначена синим цветом); 3 – 10,0 (обозначена жёлтым цветом).

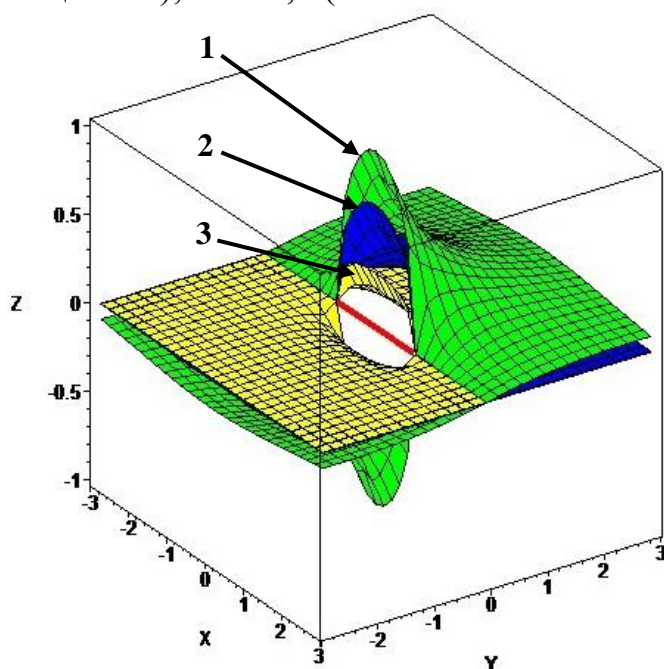


Рис. 1

Линия разреза на рисунке выделена красным цветом.

Из рисунка следует, что с увеличением величины теплообмена с окружающей средой скачок температуры на линии разреза и возмущённое температурное поле в локальной области вокруг разреза уменьшаются.

**Заключение.** С помощью построенной компьютерной модели возмущённого температурного поля наглядно показана зависимость возмущённой температуры от величины теплообмена в окружающей среде.

*Исследование проводилось по теме государственного задания (№ госрегистрации 1023031000025-7-1.1.1;1.1.2).*

#### Список литературы

1. Подстригач Я.С. Неустановившиеся температурные поля и напряжения в тонких пластинках / 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. Гольцев А.С. Компьютерная модель температурного поля в изотропной пластине с теплоизолированным разрезом / А.С. Гольцев // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: матер. VII Междунар. научн. конф. (Донецк, 27–28 октября 2022 г.). – Т. 1: Механико-математические, компьютерные науки, управление. – Донецк: ДонНУ, 2022. – С. 50–52.
4. Методические указания к теме «Сингулярные интегральные уравнения в краевых задачах теории пластин и оболочек» / Сост.: А.С. Гольцев, В.А. Цванг. – Донецк, 1992. – 25 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОУПРУГОГО СОСТОЯНИЯ ПЬЕЗОПЛАСТИНКИ С ОТВЕРСТИЯМИ И ТРЕЩИНАМИ

*Калоеров С.А.*, д-р физ.-мат. наук, проф., *Полянский М.А.*  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*kaloerov@mail.ru, m4xpolyan@yandex.ru*

**Введение.** В различных отраслях современной науки и техники широкое применение получили элементы конструкций из пьезоматериалов с отверстиями и трещинами. При эксплуатации таких конструкций под действием различных воздействий вблизи указанных концентраторов напряжений могут возникать высокие концентрации напряжений, которые могут приводить к потере прочности конструкций, что нужно учитывать при их проектировании и эксплуатации. В работе [1] для определения электромагнитоупругого состояния (ЭМУС) пластин были введены комплексные потенциалы. В данной работе с использованием этих функций дано решение задачи электромагнитоупругости для пластинки с произвольными отверстиями и трещинами. Описаны результаты численных исследований для пластинки с одним или двумя эллиптическими отверстиями с жестко подкрепленными контурами или линейными жесткими включениями.

**Постановка и метод решения задачи.** Рассмотрим бесконечную пьезопластинку ограниченную контурами эллиптических отверстий  $L_l$  ( $l = \overline{1, \mathcal{L}}$ ) с полуосями  $a_l, b_l$ , которые в частном случае могут переходить в трещины или аппроксимировать контуры отверстий произвольной конфигурации. Контур отверстия жестко подкреплен. На бесконечности заданы  $\sigma_x^\infty, \sigma_y^\infty, \tau_{xy}^\infty$ , компоненты векторов напряженностей электромагнитного поля  $E_x^\infty, E_y^\infty, H_x^\infty, H_y^\infty$  (или индукций  $D_x^\infty, D_y^\infty, B_x^\infty, B_y^\infty$ ), угол поворота пластинки как целой  $\omega_3^\infty = 0$ .

Для решения задачи используем функции  $\Phi_k(z_k) = \sum_{j=0}^{\infty} \lambda^j \Phi_{jk}(z_k)$  ( $k = \overline{1, 4}$ ) обобщенных комплексных переменных  $z_k = x + \mu_k y$ , где  $\Phi_{jk}(z_k)$  – комплексные потенциалы приближений [2],  $\mu_k$  – корни известного характеристического уравнения [1]. Исходя из общих представлений комплексных потенциалов и их приближений [2], в рассматриваемом случае комплексные потенциалы приближений и их производные принимают вид

$$\begin{aligned}\Phi_{jk}(z_k) &= \Gamma_{jk} z_k + \sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{kln} a_{jkl n}, \\ \Phi'_{jkl}(t_k) &= \Gamma_{jk} + \sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi'_{kln} a_{jkl n},\end{aligned}\quad (1)$$

где  $\Gamma_{jk}$  – постоянные, определяемые из решения известных систем линейных уравнений [2];  $\Phi_{kln}$  – известные функции, построенные на основе конформных отображений и разложений функций в ряды Лорана и по полиномам Фабера [2];  $a_{jkl n}$  – неизвестные постоянные, которые будем определять из граничных условий вида

$$\begin{aligned}2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 g_{ikp0} \delta_{k,s} \Phi'_{jkl}(t_k) &= \frac{df_{il}(t)}{ds} - \\ &- 2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 (1 - \delta_{j0}) g_{ikp1} \delta_{k,s} \Phi'_{j-1,kl}(t_k) \quad (i = \overline{1, 4}, p = \overline{1, \mathcal{L}}),\end{aligned}\quad (2)$$

в которых  $\delta_{k,s} = dz_k/ds$ ;  $s$  – длина дуги контура, обходимого против часовой стрелки;  $g_{ikp0}$ ,  $g_{ikp1}$  – постоянные, причем, если контур жестко подкреплён, то  $g_{1kp0} = p_{k0}$ ,  $g_{2kp0} = q_{k0}$ ,  $g_{1kp1} = p_{k1}$ ,  $g_{2kp1} = q_{k1}$ ,  $g_{3kp0} = g_{3kp1} = r_k^0$ ,  $g_{4kp0} = g_{4kp1} = h_k^0$ ,  $p_{k0}$ ,  $p_{k1}$ ,  $q_{k0}$ ,  $q_{k1}$ ,  $r_k^0$ ,  $h_k^0$  – известные постоянные [2].

Граничным условиям (2) будем удовлетворять обобщенным методом наименьших квадратов. Для этого выберем на каждом из контуров  $L_p$  ( $p = \overline{1, \mathcal{L}}$ ) систему точек  $M_{pm}(x_{pm}, y_{pm})$  ( $m = \overline{1, M_p}$ ), в которых удовлетворим граничным условиям. Получим следующую систему уравнений для определения постоянных  $a_{jkl n}$ :

$$\begin{aligned}2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 \sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} g_{ikp0} \delta_{k,s} \Phi'_{kln}(t_{kpm}) a_{jkl n} &= \frac{df_{ip}(t_{kpm})}{ds} - 2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 g_{ikp0} \delta_{k,s} \Gamma_{jk} - \\ &- 2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 \sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} (1 - \delta_{j0}) g_{ikp1} \delta_{k,s} \Phi'_{kln}(t_{kpm}) a_{j-1,kl n} - \\ &- 2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 (1 - \delta_{j0}) g_{ikp1} \delta_{k,s} \Gamma_{j-1,k} \quad (i = \overline{1, 4}, p = \overline{1, \mathcal{L}}, m = \overline{1, M_p}).\end{aligned}\quad (3)$$

Систему (3) будем решать методом сингулярного разложения. После нахождения псевдорешений этой системы станут известными постоянные  $a_{jkl n}$ , а следовательно, и комплексные потенциалы приближений (1), и по ним с использованием известных формул [1] можно вычислять основные характеристики ЭМУС. При этом, если некоторый эллипс  $L_l$  переходит в

прямолинейный разрез-трещину, то для его концов можно вычислить также коэффициенты интенсивности напряжений, индукций и напряженностей (КИНИН) по известным формулам [1].

**Описание результатов численных исследований.** Были проведены численные исследования для пластин из различных пьезоматериалов с круговыми отверстиями или трещинами, при действии на бесконечности различных механических и электромагнитных воздействий.

В численных исследованиях количество членов в бесконечных рядах (1) для каждого контура  $L_p$  и количество точек  $M_p$  на нем, в которых удовлетворялись граничные условия при получении системы уравнений (3), увеличивались до тех пор, пока граничные условия на контурах не удовлетворялись с достаточно высокой степенью точности.

Численными исследованиями установлено, что с течением времени около контура отверстия происходит значительное изменение напряженного состояния, причем наибольшие изменения значений напряжений происходят в первые 10 час., значительные изменения этих значений наблюдаются и позже, вплоть до 40–50 часов.

Исследованиями установлено, что при исследованиях напряженно-деформированного состояния пьезопластин нельзя ограничиваться решением классической задачи теории упругости, а нужно решать задачу электромагнитоупругости. Более того, при действии электромагнитного поля в пластинке возникают значительные напряжения, которые можно определять только решением задачи электромагнитоупругости. Существенное влияние на значения основных характеристик ЭМУС и их изменения во времени имеет количество отверстий. Установлено, что при сближении отверстий друг с другом существенные изменения значений напряжений происходят лишь в зоне между отверстиями, тогда как вне этой зоны сближение отверстий не приводит к заметным изменениям их значений; при переходе в стационарное состояние значения напряжений в зоне между отверстиями изменяются весьма значительно.

Также установлено, что при сближении линейных включений резко увеличивается значения КИН, и при близких расстояниях между трещинами они становятся весьма большими.

Исследования проводились в ФГБОУ ВО ДонГУ в рамках государственного задания (№ госрегистрации 1023030100040-4-1.1.2;2.3.1).

#### Список литературы

1. Калоеров С.А. Двумерные задачи электромагнитоупругости для многосвязных тел / С.А. Калоеров, А.В. Петренко. – Донецк: Юго-Восток. – 2011. – 232 с.
2. Калоеров С.А. Задача электромагнитоупругости для многосвязных пластинок / С.А. Калоеров, А.А. Самодуров // Прикладная механика. – 2015. – Т. 51, № 6. – С. 23–41.

## ЗАДАЧА ИЗГИБА ТОНКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТОУПРУГОЙ ПЛИТЫ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ РЯДОМ ОТВЕРСТИЙ ИЛИ ТРЕЩИН

*Калоеров С.А.*, д-р физ.-мат. наук, проф., *Сероштанов А.В.*  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*kaloerov@mail.ru, aleks.serosht@gmail.com*

**Введение.** С использованием комплексных потенциалов теории изгиба тонких электромагнитоупругих плит получено решение задачи об изгибе тонкой пьезоплиты с периодическим рядом эллиптических отверстий или трещин. С помощью конформных отображений и разложений голоморфных функций комплексные потенциалы представлены совокупностями рядов Лорана с неизвестными коэффициентами. На основе периодичности электромагнитоупругого состояния (ЭМУС) плиты коэффициенты рядов от всех отверстий выражены через коэффициенты рядов для одного, так называемого основного отверстия. Удовлетворяя граничным условиям на основном отверстии обобщенным методом наименьших квадратов (ОМНК), для определения неизвестных коэффициентов рядов получена переопределенная система линейных алгебраических уравнений, которая решается методом сингулярных разложений. Для плиты с круговыми отверстиями или трещинами из различных пьезоматериалов проведены численные исследования, с помощью которых установлены закономерности изменения ЭМУС в зависимости от физико-механических свойств материала плиты и геометрических характеристик отверстий или трещин.

### **Постановка и метод решения задачи.**

Рассмотрим тонкую электромагнитоупругую плиту с бесконечным периодическим рядом одинаковых и одинаково ориентированных эллиптических отверстий с контурами  $L_l$  ( $l=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) с центрами вдоль оси  $Ox$  прямоугольной системы координат  $Oxy$  с началом в центре отверстия с контуром  $L_0$ , называемого основным (рис. 1). Обозначим через  $a, b$  полуоси эллипсов,  $\varphi$  – угол между осью  $Ox$  и полуосью  $a$ , отсчитываемый от положительного направления оси  $Ox$  против часовой стрелки, и  $h_x$  – расстояние между центрами соседних отверстий. Контур отверстия свободны от усилий, на бесконечности плита находится под действием механических изгибающих и крутящих моментов  $M_x^\infty, M_y^\infty, H_{xy}^\infty$  и моментов индукций  $M_{dx}^\infty, M_{dy}^\infty, M_{bx}^\infty, M_{by}^\infty$ .

Для решения задачи используем 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]. Исходя из общих представлений комплексных потенциалов [1] и в силу периодичности электромагнитоупругого состояния плиты, в рассматриваемом случае производные комплексных потенциалов будут иметь следующий вид:

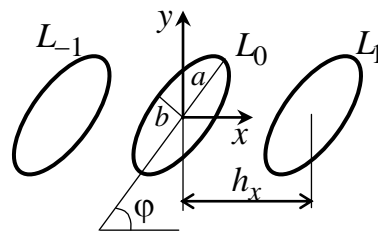


Рис. 1

$$W_k'(z_k) = \Gamma_k z_k + \sum_{n=1}^{\infty} a_{kn} \psi_{kn}(z_k),$$

$$W_k''(z_k) = \Gamma_k + \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{kn} \psi'_{kn}(z_k), \quad (1)$$

где

$$\psi_{kn}(z_k) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \phi_{kln}(z_k), \quad \psi'_{kn}(z_k) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \phi'_{kln}(z_k);$$

$\Gamma_k$  – известные постоянные, определяемые из решения известной системы линейных алгебраических уравнений 8-го порядка [2],  $\phi_{kln}$  – известные функции, построенные на основе конформных отображений и разложений функций в ряды Лорана [2],  $a_{kn}$  – неизвестные постоянные, определяемые из граничных условий на контуре основного отверстия  $L_0$ . На остальных контурах в силу учтенной периодичности электромагнитоупругого состояния плиты граничные условия будут удовлетворены автоматически. При этом в рассматриваемом случае на контуре  $L_0$  производные комплексных потенциалов должны удовлетворять следующим граничным условиям

$$2 \operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 g_{ik} \delta_{k,s} W_k''(t_k) = 0 \quad (i = \overline{1, 4}, t_k \in L_{k0}), \quad (2)$$

в которых  $\delta_{k,s} = dz_k/ds$ ;  $s$  – длина дуги контура  $L_0$ , обходимого против часовой стрелки;  $g_{ik}$  – постоянные, причем, если контур  $L_0$  не подкреплен, то  $g_{1k} = p_k/\mu_k$ ,  $g_{2k} = q_k$ ,  $g_{3k} = d_{yk}$ ,  $g_{4k} = b_{yk}$ ,  $p_k$ ,  $q_k$ ,  $d_{yk}$ ,  $b_{yk}$  – известные постоянные [1].

Выполнение граничных условий (2) осуществим с использованием ОМНК. Для этого на контуре  $L_0$  выберем систему точек, в которых удовлетворим соответствующим граничным условиям. Тогда для определения неизвестных постоянных  $a_{kn}$  получаем систему линейных алгебраических уравнений вида

$$2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 \sum_{n=1}^{\infty} g_{ik} \delta_{k,s} \Psi'_{kn}(t_{km}) a_{kn} = -2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 g_{ik} \delta_{k,s} \Gamma_k \quad (i = \overline{1,4}; m = \overline{1, M_0}),$$

$$2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^4 i a_{k1} = 0. \quad (3)$$

После решения методом сингулярных разложений системы (3) постоянные  $a_{kn}$  станут известными, а следовательно, и комплексные потенциалы (1), и по ним с использованием известных формул [1] находятся основные характеристики ЭМУС (механические изгибающие моменты, моменты индукций электрического и магнитного полей). При этом, если периодический ряд эллипсов переходит в ряд прямолинейных трещин, то для их концов можно вычислить и коэффициенты интенсивности моментов (КИМ) по известным формулам [2].

**Описание результатов численных исследований.** Численные исследования были проведены для плит из различных пьезоматериалов с периодическим рядом круговых отверстий или трещин, при действии на бесконечности различных механических изгибающих моментов.

Исследованиями установлено, что при сближении отверстий друг с другом наблюдается значительная концентрация моментов (следовательно, и напряжений) около контуров отверстий вблизи перемычек, тогда как вдали от перемычек значения этих моментов изменяются незначительно. Как показывают расчеты, учет пьезосвойств материала оказывает значительное влияние на значения основных характеристик ЭМУС и при исследованиях концентрации моментов в элементах конструкций, изготовленных из пьезоматериалов, нельзя ограничиваться решением задачи теории упругости, а нужно решать задачу электромагнитоупругости.

Также установлено, что при сближении трещин, расположенных вдоль одной линии, значения КИМ растут, и при близких расстояниях между трещинами они становятся весьма большими, а при сближении параллельных трещин значения КИМ для их концов наоборот уменьшаются.

*Исследования проводились в ФГБОУ ВО ДонГУ в рамках государственного задания (№ госрегистрации 1023030100040-4-1.1.2; 2.3.1).*

### Список литературы

1. Калоеров С.А. Комплексные потенциалы теории изгиба тонких электромагнитоупругих плит / С.А. Калоеров // Вестн. Донец. нац. ун-та. Сер. А. Естеств. науки. – 2019. – № 3–4. – С. 37–57.
2. Калоеров С.А. Решение задачи об электромагнитоупругом изгибе многосвязной плиты / С.А. Калоеров, А.В. Сероштанов // Прикладная механика и техническая физика. – 2022. – Т. 63, № 4. – С. 143–155.

## ИНТЕГРИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОУПРУГИХ ВОЛН РЕЛЕЕВСКОГО ТИПА В ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНОЙ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ С ДВОЙНОЙ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ

*Карасев Д.С.<sup>1</sup>, Малютина Т.П.<sup>1,2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
Сторожев С.В.<sup>1,2</sup>, д-р техн. наук, доц.*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
г. Макеевка, РФ

*s.v.storozhev@donnasa.ru*

**Введение.** Поверхностные связанные электроупругие волны на протяжении достаточно длительного периода являются объектом интенсивных экспериментальных и теоретических исследований в связи с широким кругом приложений в акустоэлектронике, приборостроении и измерительной технике, ультразвуковой диагностике и геоакустике [1–2]. При этом актуальность приобретают новые задачи данного типа, возникающие в связи с развитием технологий изготовления пьезоактивных материалов, в первую очередь различных модификаций пьезокерамики пористой структуры и функционально-градиентной пьезокерамики с различными типами непрерывной неоднородности физико-механических свойств, в том числе с локализованной приграничной неоднородностью [3–4]. В этой связи, предметом исследований в данной работе является разработка численно-аналитической методики анализа свойств поверхностных электроупругих волн в полупространстве функционально-градиентной пьезокерамики с двойной экспоненциальной неоднородностью [5].

**Интегрирование уравнений распространения продольно-сдвиговых электроупругих волн в полупространстве функционально-градиентной пьезокерамики.** При реализации численно-аналитической методики получения дисперсионных уравнений для исследуемых волн в качестве следствия из краевых условий на границе пьезоактивного полупространства, первым этапом является решение задачи аналитического интегрирования системы уравнений стационарной волновой динамики для функционально-градиентной среды рассматриваемого типа. В рассматриваемом случае упругие, пьезоэлектрические, диэлектрические характеристики неоднородного пьезокерамического материала и параметр его плотности в полупространстве  $V = \{(x_1, x_2) \in R^2, x_3 \leq 0\}$  соответственно имеют описания

$$\begin{aligned} c_{ij}(x_3) &= c_{ij0} \cdot \varphi(\lambda, \beta, x_3) \quad (ij = 11, 12, 13, 33, 44), \quad e_{ij}(x_3) = e_{ij0} \cdot \varphi(\lambda, \beta, x_3) \quad (ij = 15, 31, 33), \\ \varepsilon_{ij}(x_3) &= \varepsilon_{ij0} \cdot \varphi(\lambda, \beta, x_3) \quad (ij = 11, 33), \quad \rho(x_3) = \rho_0 \cdot \varphi(\lambda, \beta, x_3), \end{aligned} \quad (1)$$



$\varphi(\lambda, \beta, x_3) = \exp(\lambda \exp(-\beta x_3))$ ,  $\lambda$  и  $\beta \leq 0$  – параметры неоднородности;  $c_{ij} \rightarrow c_{ij0}$ ,  $e_{ij} \rightarrow e_{ij0}$ ,  $\varepsilon_{ij} \rightarrow \varepsilon_{ij0}$ ,  $\rho \rightarrow \rho_0$  при  $x_3 \rightarrow -\infty$ .

Применительно к случаю распространения локализованной поверхностной волны релеевского типа с циклической частотой  $\omega$  и волновым числом  $k$  вдоль направления  $Ox_1$  в плоскости изотропии полупространства из рассматриваемого материала система уравнений волнового электроупругого деформирования относительно отнесенных к параметру линейной размерности  $R$  безразмерных амплитудных составляющих в комплексных функциях волновых упругих перемещений  $u_j(x_1, x_3, t) = u_{j0}(x_3) \exp(-i(\omega t - kx_1))$  и потенциала квазистатического электрического поля  $\varphi(x_1, x_3, t) = \varphi_0(x_3) \exp(-i(\omega t - kx_1))$  принимает вид

$$\begin{aligned} & \left( -k^2 c_{11}(x_3) + c_{44}(x_3) \partial_3^2 + c'_{44}(x_3) \partial_3 + \Omega^2 \right) u_{10} + (ik)(c_{13}(x_3) \partial_3 + c_{44}(x_3) \partial_3 + c'_{44}(x_3)) u_{30} + \\ & + (ik)(e_{31}(x_3) \partial_3 + e_{15}(x_3) \partial_3 + e'_{15}(x_3)) \varphi_0 = 0, \\ & (ik)(c_{44}(x_3) \partial_3 + c_{13}(x_3) \partial_3 + c'_{13}(x_3)) u_{10} + \left( -k^2 c_{44}(x_3) + c_{33}(x_3) \partial_3^2 + c'_{33}(x_3) \partial_3 + \Omega^2 \right) u_{30} + \\ & + (-k^2 e_{15}(x_3) + e_{33}(x_3) \partial_3^2 + e'_{15}(x_3) \partial_3) \varphi_0 = 0, \\ & (ik)(e_{15}(x_3) \partial_3 + e_{31}(x_3) \partial_3 + e'_{31}(x_3)) u_{10} + \left( -k^2 e_{15}(x_3) + e_{33}(x_3) \partial_3^2 + e'_{33}(x_3) \partial_3 \right) u_{30} - \\ & - (-k^2 \varepsilon_{11}(x_3) + \varepsilon_{33}(x_3) \partial_3^2 + \varepsilon'_{33}(x_3) \partial_3) \varphi_0 = 0, \quad \Omega^2 = \rho \omega^2 R^2, \quad \partial_3 = \partial / \partial x_3. \end{aligned} \quad (2)$$

На задачу интегрирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений (2) может быть распространен представленный в [6] итерационный алгоритм, в рамках которого с учетом представлений для  $c_{ij}(x_3)$ ,  $e_{ij}(x_3)$ ,  $\varepsilon_{ij}(x_3)$ ,  $\rho(x_3)$ , система (2) записывается в матрично-векторной форме

$$\begin{aligned} & (\underline{E}_1(x_3) \partial_3^2 + \underline{E}_2(x_3) \partial_3 + \underline{E}_3(x_3)) \Phi(x_3) = 0, \quad \Phi(x_3) = (u_{10}, u_{30}, \varphi_0)^T, \quad (3) \\ & \underline{E}_1(x_3) = \begin{pmatrix} c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & c_{33} & e_{33} \\ 0 & e_{33} & -\varepsilon_{33} \end{pmatrix}, \quad \underline{E}_2(x_3) = \begin{pmatrix} c'_{44} & ik(c_{13} + c_{55}) & ik(e_{31} + e_{15}) \\ ik(c_{13} + c_{55}) & c'_{33} & e'_{15} \\ ik(e_{31} + e_{15}) & e'_{33} & -\varepsilon'_{33} \end{pmatrix}, \quad \underline{E}_3 = \begin{pmatrix} \Omega^2 - c_{11} k^2 & ikc'_{44} & e'_{15} \\ ikc'_{13} & \Omega^2 - c_{44} k^2 & -k^2 e_{15} \\ ike'_{13} & -k^2 e_{15} & k^2 \varepsilon_{11} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

и с учетом выражений

$$c'_{ij}(x_3) = c_{ij}^{(0)} \gamma e^{-\beta x_3} e^{\lambda e^{-\beta x_3}}, \quad \gamma = \lambda \beta, \quad (4)$$

на основе разложений

$$\underline{E}_1 = \underline{E}_1^{(0)} + \underline{E}_1^{(1)} \gamma e^{-\beta x_3}, \quad \underline{E}_2 = \underline{E}_2^{(0)} + \underline{E}_2^{(1)} \gamma e^{-\beta x_3}, \quad \underline{E}_3 = \underline{E}_3^{(0)} + \underline{E}_3^{(1)} \gamma e^{-\beta x_3}, \quad (5)$$

трансформируется к виду

$$(\underline{E}_1^{(0)} \partial_3^2 + \underline{E}_2^{(0)} \partial_3 + \underline{E}_3^{(0)}) \Phi = -\gamma e^{-\beta x_3} (\underline{E}_2^{(1)} \partial_3 + \underline{E}_3^{(1)}) \Phi. \quad (6)$$

Структурная аналогия соотношений системы (6) с рассмотренными в работе [6] позволяет применить для ее интегрирования описанный в [6] итерационный алгоритм. В его рамках вводится представление

$$\Phi = \Phi_0 + \Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_n + \dots, \quad (7)$$

$$(\underline{E}_1^{(0)} \partial_3^2 + \underline{E}_2^{(0)} \partial_3 + \underline{E}_3^{(0)}) \Phi_0 = 0, \quad (8)$$

$$(\underline{E}_1^{(0)} \partial_3^2 + \underline{E}_2^{(0)} \partial_3 + \underline{E}_3^{(0)}) \Phi_1 = -\gamma e^{-\beta x_3} (\underline{E}_2^{(1)} \partial_3 + \underline{E}_3^{(1)}) \Phi_0, \dots, \quad (9)$$

$$(\underline{E}_1^{(0)} \partial_3^2 + \underline{E}_2^{(0)} \partial_3 + \underline{E}_3^{(0)}) \Phi_n = -\gamma e^{-\beta x_3} (\underline{E}_2^{(1)} \partial_3 + \underline{E}_3^{(1)}) \Phi_{n-1}.$$

Однородная система линейных дифференциальных уравнений (6) с постоянными коэффициентами относительно  $\underline{\Phi}_0$  интегрируется методом Эйлера и представление  $\underline{\Phi}_0$  записывается в виде линейной комбинации базисных частных решений  $\underline{\Phi}_{0j}$  с произвольными коэффициентами  $c_j$

$$\underline{\Phi}_0 = c_1 \underline{\Phi}_{01} + c_2 \underline{\Phi}_{02} + c_3 \underline{\Phi}_{03} + c_4 \underline{\Phi}_{04} + c_5 \underline{\Phi}_{05} + c_6 \underline{\Phi}_{06}.$$

На основе данного представления при поочередном выборе в качестве начальных приближений для системы (6) функций  $\underline{\Phi}_0 = \underline{\Phi}_{0j}$  из (9) определяются последовательные приближения  $\underline{\Phi}_{nj}$  для шести векторных базисных частных решений исходной системы  $\underline{\Phi}^{(j)}$

$$\underline{\Phi}_{0j} = \underline{f}_{0j} e^{\delta_j x_3}, \quad \underline{\Phi}_{1j} = \underline{f}_{1j} e^{(\delta_j - \beta) x_3}, \quad \dots \quad \underline{\Phi}_{nj} = \underline{f}_{nj} e^{(\delta_j - n\beta) x_3}, \dots \quad (10)$$

где

$$\underline{f}_{nj} = -\gamma \underline{M}_{1n,j}^{-1} \underline{M}_{2n,j} \underline{f}_{n-1,j}, \quad \underline{M}_{1n,j} = (\delta_j - n\beta)^2 \underline{A}_1^0 + (\delta_j - n\beta) \underline{A}_2^0 + \underline{A}_3^0, \\ \underline{M}_{2n,j} = ((\delta_j - n\beta) \underline{A}_2^1 + \underline{A}_3^1),$$

или

$$\underline{f}_{nj} = (-\gamma)^n \underline{M}_{1n,j}^{-1} \underline{M}_{2n,j} \underline{M}_{1n-1,j}^{-1} \underline{M}_{2n-1,j} \dots \underline{M}_{11,j}^{-1} \underline{M}_{21,j} \underline{f}_{01}. \quad (11)$$

В итоге, представление для соответствующего базисного частного решения (9) может быть записано в следующем явном виде

$$\underline{\Phi}^{(j)}(x_3) = \underline{f}_{0j} e^{\delta_j x_3} - \gamma \underline{M}_{11,j}^{-1} \underline{M}_{21,j} \underline{f}_{0j} e^{(\delta_j - \beta) x_3} + \gamma^2 \underline{M}_{12,j}^{-1} \underline{M}_{22,j} \underline{M}_{11,j}^{-1} \underline{M}_{21,j} \underline{f}_{0j} e^{(\delta_j - 2\beta) x_3} - \dots + \\ + (-\gamma)^n \underline{M}_{1n,j}^{-1} \underline{M}_{2n,j} \underline{M}_{1n-1,j}^{-1} \underline{M}_{2n-1,j} \dots \underline{M}_{11,j}^{-1} \underline{M}_{21,j} \underline{f}_{01} e^{(\delta_j - n\beta) x_3} + \dots = \underline{f}_{0j} e^{\delta_j x_3} - \gamma \underline{Q}_{1j} \underline{f}_{0j} e^{(\delta_j - \beta) x_3} + \\ + \gamma^2 \underline{Q}_{2j} \underline{Q}_{1j} \underline{f}_{0j} e^{(\delta_j - 2\beta) x_3} - \dots + (-\gamma)^n \underline{Q}_{nj} \underline{Q}_{n-1,j} \dots \underline{Q}_{1j} \underline{f}_{01} e^{(\delta_j - n\beta) x_3} + \dots, \quad \underline{Q}_{nj} = \underline{M}_{1n,j}^{-1} \underline{M}_{2n,j}.$$

*Исследования проводились в ФГБОУ ВО ДонГУ в рамках государственного задания (№ госрегистрации 1023030100040-4-1.1.2;2.3.1).*

### Список литературы

1. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах / Д. Морган. – М.: Радио и связь, 1990. – 415с.
2. Бугаев А.С. Устройства на поверхностных акустических волнах / А.С. Бугаев, В.Ф. Дмитриев, С.В. Кулаков. – СПб: ГУАП, 2009 – 187 с.
3. Панич А.А. Кристаллические и керамические пьезоэлектрики / А.А. Панич, М.А. Мараховский, Д.В. Мотин // Инж. вестн. Дона. – 2011. – № 1. – 0421100096, ivdon3@bk.ru.
4. Uchino K. Advanced Piezoelectric Materials / K. Uchino – Cambridge: Woodhead Publ., 2011. – 696 p.
5. Болнокин В.Е. Анализ модели распространения сдвиговых упругих волн в полубесконечном трансверсально-изотропном функционально-градиентном геомассиве / В.Е. Болнокин, А.А. Глухов, В.И. Сторожев. // Журн. теорет. и прикладной механики. – 2022. – № 3 (80). – С. 14–19.
6. Глухов А.А. Интегрирование системы уравнений распространения произвольно ориентированных трехпарциальных поверхностных волн в функционально-градиентном ортотропном полупространстве / А.А. Глухов, В.И. Сторожев, В.А. Шалдырван // Журн. теорет. и прикладной механики. – 2022. – № 4(81). – С. 15–22.

## МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ПРИ ОСЕВОМ СЖАТИИ

*Курочкина В.А., Холодова С.Н.*, канд. техн. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,  
г. Ростов-на-Дону, РФ  
*spu-38.1@donstu.ru*

**Введение.** В связи с постоянным развитием строительных конструкций и увеличением требований к их использованию в современном мире выделяют более высокие требования к прочности бетона, весу конструкции, устойчивости и долговечности. Реактивный порошок бетона (РПК) представляет собой новый вид сверхвысокоэффективного материала на основе цемента. Конструкция из реактивного порошкового бетона, армированная сталью (КСРПК), образованная путем объединения РПК и стальных профилей, может значительно повысить несущую способность и сейсмические характеристики колонн. Колонны КСРПК обладают преимуществами как реактивного порошкового бетона, так и профильной стали, а стальная фибра в реактивном порошковом бетоне и встроенный стальной каркас повышают пластичность и прочность конструкции.

Таким образом, углубленное исследование механических характеристик колонны КСРПК имеет большое значение в области строительства. Механические характеристики железобетонных колонн (ЖБК) выявлены посредством испытаний и численного моделирования.

**Цель** – исследование механических характеристик колонны КСРПК с помощью создания модели в программном обеспечении ANSYS.

**Основная часть.** В связи с непрерывным развитием строительных конструкций и ростом спроса на использование была предложена композитная конструкция из реактивного порошкового бетона, армированного сталью (КСРПК), обладающая превосходной несущей способностью, жесткостью, пластичностью, огнестойкостью и сейсмическими характеристиками. В этой статье трехмерная модель колонны КСРПК была создана с помощью программного обеспечения конечных элементов ANSYS для исследования механических характеристик, а согласованность модели и результатов испытаний была проверена с точки зрения аспектов явления разрушения, кривой смещения нагрузки и несущей способности. На этой основе исследовано влияние расчетной длины, прочности стали профиля, прочности арматурного стержня, коэффициента крепления и прочности бетона на механические характеристики колонн КСРПК.

## Верификация результатов численного моделирования

**1. Анализ режима отказа и облака напряжений.** Вид разрушения и смоделированное облако пластической деформации образца показаны на рис. 2. При использовании программного обеспечения конечных элементов для моделирования трудно определить ситуацию с трещиной в образце, поскольку модель образца идеализирована. Но о повреждении можно судить, анализируя диаграмму облака пластической деформации образца и сравнивая его с экспериментальным явлением. Как показано на рис. 2, образец подвергается боковой деформации под вертикальной нагрузкой, а бетон средней секции колонны имеет большую пластическую деформацию, что соответствует трещинам в явлении испытания.



Рис. 1. Конечно-элементная модель

**2. Кривая перемещения нагрузки и несущая способность.** Результаты испытаний и моделирования кривой смещения нагрузки показаны на рис. 3. Общая форма двух кривых хорошо согласуется. Основное различие между двумя кривыми заключается в нисходящем участке, на котором испытательная нагрузка внезапно падает, тогда как нисходящий участок моделируемой кривой более умеренный. Это связано с тем, что в процессе нагружения в образцах появились трещины и отколы бетона. Трещины и растрескивание бетона были серьезными, особенно на позднем этапе погрузки. Это явление привело к заметному снижению несущей способности образцов после максимальной нагрузки, а жесткость быстро снизилась. Однако в конечно-элементной модели не учитывались трещины и растрескивание бетона, поэтому несущая способность и жесткость модели после максимальной нагрузки были в определенной степени выше, чем у образцов, участвовавших в испытании.

Существует определенное смещение между экспериментальным значением и значением моделирования, но в целом скольжение незначительно. Испытательное значение используется в качестве горизонтальной оси, а значение моделирования используется в качестве вертикальной оси, а сравнительная диаграмма этих двух показана на рис. 3.

Скольжение образцов контролируется в пределах 10%. Средняя ошибка составляет 0,007, а дисперсия — 0,000004, что указывает на то, что значение моделирования хорошо согласуется с экспериментальным значением, и результаты моделирования могут быть использованы для анализа механических характеристик.

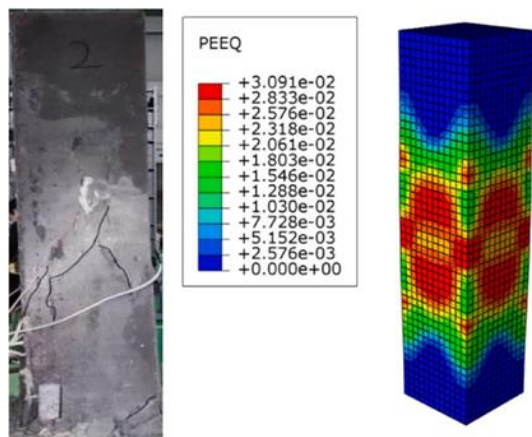


Рис. 2. Сравнительная диаграмма разрушения образца.

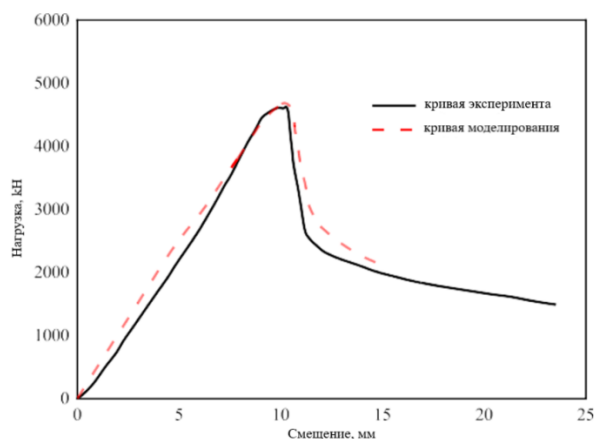


Рис. 3. Сравнительная диаграмма кривой перемещения-нагрузки

**Заключение.** Результаты данного исследования показывают, что:

1. Несущая способность образцов КСРПК увеличилась на 19,93–27,92 % с увеличением прочности бетона, прочности профильной стали, прочности арматурного стержня и соотношения хомутов, а также с увеличением расчетной длины колонны несущая способность снизилась на 8,88~36,96 %.

2. На основе анализа параметров колонны несущая способность зависит от прочности бетона и профиля стали, как правило, к коэффициенту крепления и расчетной длине и минимально к прочности арматурного стержня;

3. Нагрузка, входящая в упругопластическую стадию, увеличивается с увеличением прочности бетона, прочности стали профиля и коэффициента крепления и уменьшается с увеличением расчетной длины.

### Список литературы

1. Рябухин А.К. Железобетонные конструкции высотных зданий : учеб. пособие / А.К. Рябухин, Д.В. Лейер. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 161 с. – ISBN 978-5-00097138-3.
2. Chen S., Wu P. Analytical model for predicting axial compressive behavior of steel reinforced concrete column // J. Constr. Steel Res. – 2017. – Vol. 128. –P. 649–660.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНКИ С ЭЛЛИПТИЧЕСКИМИ ОТВЕРСТИЯМИ И ТРЕЩИНАМИ

*Миرونенко А.Б.*, канд. физ.-мат. наук,

*Глушанков Е.С.*, канд. физ.-мат. наук

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, РФ

*a.mironenko@donnu.ru*

**Введение.** Элементы многих конструкций в современной промышленности изготавливаются из изотропных пластин, имеющих по различным причинам отверстия. Вблизи этих отверстий в процессе эксплуатации могут возникать трещины, что нужно учитывать при проектировании конструкций. Наиболее надежные результаты по определению концентраций напряжений дают методы, использующие комплексные потенциалы. Здесь с использованием комплексных потенциалов и представления голоморфных функций рядами Лорана и по полиномам Фабера и удовлетворением граничным условиям на контурах обобщенным методом наименьших квадратов задача об определении напряженно-деформированного состояния пластинки сведена к решению переопределенной системы линейных алгебраических уравнений методом сингулярных разложений. Численные исследования проведены для бесконечной пластинки с эллиптическим отверстием и краевой трещиной.

**Постановка и метод решения задачи.** Рассматривается изотропная пластинка с произвольными эллиптическими отверстиями, которые могут переходить и в трещины, пересекаться друг с другом. На контурах пластинки заданы непрерывно распределенные внешние усилия или они жестко подкреплены. Во внутренних точках пластинки  $z_r^0(x_r^0, y_r^0)$  ( $r = \overline{1, R}$ ), действуют сосредоточенные силы  $P_r^0(x_r^0, y_r^0)$ . Если контур  $L_0$  полностью уходит в бесконечность, то будем иметь бесконечную многосвязную область. В этом случае на бесконечности могут быть заданы напряжения  $\sigma_x^\infty, \sigma_y^\infty, \tau_{xy}^\infty$  и угол поворота  $\varepsilon^\infty$ .

Для определения напряженно-деформированного состояния пластинки используются комплексные потенциалы Колосова-Мусхелишвили [1]. После соответствующих конформных отображений и разложений в ряды Лорана (для отверстий), по полиномам Фабера (для конечной области, ограниченной внешним контуром пластинки), преобразуемым в степенные ряды, и дифференцирования комплексные потенциалы представляются рядами [2]:

$$\Phi(z) = g\Gamma_1 + A'(z) + \sum_{l=g}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} a_{ln} \phi'_{ln}(z), \quad \Psi(z) = g\Gamma_2 + B'(z) + \sum_{l=g}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} b_{ln} \phi'_{ln}(z),$$

где

$$\Gamma_1 = \frac{\sigma_x^\infty + \sigma_y^\infty}{4} + i \frac{2\mu\varepsilon^\infty}{1+\alpha}, \quad \Gamma_2 = \frac{\sigma_y^\infty - \sigma_x^\infty}{2} + i\tau_{xy}^\infty,$$

$$A'(z) = -\sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \frac{P_l}{z-z_l} - \sum_{r=1}^R \frac{P_r^0}{z-z_r^0}, \quad B'(z) = \sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \frac{\alpha \bar{P}_l}{z-z_l} + \sum_{r=1}^R \frac{\alpha \bar{P}_r^0}{z-z_r^0},$$

$$P_l = \frac{X_l + iY_l}{2\pi(1+\alpha)}, \quad P_r^0 = \frac{X_r^0 + iY_r^0}{2\pi(1+\alpha)}; \quad \alpha = \frac{3-\nu}{1+\nu};$$

$$\varphi'_{0n}(z) = n(z-z_0)^{n-1}, \quad \varphi'_{ln}(z) = -\frac{n}{R_l \zeta_l^{n-1} (\zeta_l^2 - m_l)};$$

$g=0$  в случае конечной области,  $g=1$  в случае бесконечной области;  $(X_l, Y_l)$  – главный вектор внешних усилий, приложенных к контуру отверстия  $L_l$ ;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $\mu$  – модуль сдвига;  $\zeta_l$  определяется из конформного отображения внешности единичной окружности  $|\zeta_l| \geq 1$  на внешность контура  $L_l$  по формулам [1]:

$$z = z_{l0} + R_l \left( \zeta_l + \frac{m_l}{\zeta_l} \right), \quad z_{l0} = x_{0l} + iy_{0l}, \quad R_l = \frac{a_l + b_l}{2} e^{i\varphi_l}, \quad m_l = \frac{a_l - b_l}{a_l + b_l};$$

в которых  $a_l, b_l$  – полуоси эллипса  $L_l$ ;  $x_{0l}, y_{0l}$  – координаты начала локальной системы координат  $O_l x_l y_l$  в основной системе координат  $Oxy$ ;  $\varphi_l$  – угол между направлениями осей  $Ox$  и  $O_l x_l$ .

Неизвестные постоянные  $a_{ln}, b_{ln}$  определяем из граничных условий на контурах пластинки, которые в дифференциальной форме имеют вид

$$s_l \delta_{ls} \Phi(t) - \delta_{ls} \overline{\Phi(t)} - t \overline{\delta_{ls}} \overline{\Phi'(t)} - \overline{\delta_{ls}} \overline{\Psi(t)} = \frac{df_l(t)}{ds}.$$

Здесь  $\delta_{ls} = \frac{dt}{ds} = \frac{x' + iy'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}}, \quad \frac{df_l(t)}{ds} = \mp i(X_{ln} + iY_{ln})$ , если на контуре  $L_l$

заданы внешние усилия  $X_{ln}, Y_{ln}$ ;  $df_l(t)/ds = 2\mu \left( du^*/ds + i dv^*/ds \right) - 2\mu i \varepsilon \delta_{ls}$ , если на  $L_l$  заданы перемещения  $u^*, v^*$ ;  $x', y'$  – производные по параметру  $\theta$  параметрического задания контура  $x_l = a_l \cos \theta, y_l = b_l \sin \theta$ .

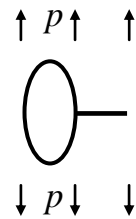
Граничным условиям будем удовлетворять обобщенным методом наименьших квадратов [2, 3]. Для этого выберем на каждом из контуров систему точек в которых удовлетворим заданным граничным условиям. Подставив комплексные потенциалы в граничные условия, получим переопределенную систему линейных алгебраических уравнений:

$$2\operatorname{Re} \sum_{l=g}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ s_p \delta_{ps} \Phi(t_{pm}) - \delta_{ps} \overline{\Phi(t_{pm})} - t_{pm} \overline{\delta_{ps}} \overline{\Phi'(t_{pm})} - \overline{\delta_{ps}} \overline{\Psi(t_{pm})} \right] =$$

$$= \frac{df_l(t)}{ds} - \left[ s_p \delta_{ps} \overline{\Gamma_1} - \delta_{ps} \overline{\Gamma_1} - \delta_{ps} \overline{\Gamma_2} \right] - \left[ s_p \delta_{ps} \overline{A'(t_{pm})} - \delta_{ps} \overline{A'(t_{pm})} - t_{pm} \delta_{ps} \overline{A''(t_{pm})} - \delta_{ps} \overline{B'(t_{pm})} \right] \quad (p = \overline{g, \mathcal{L}}, m = \overline{1, M_p}).$$

После нахождения псевдорешения системы методом сингулярного разложения [3] постоянные  $a_{ln}$ ,  $b_{ln}$ , а, следовательно, и комплексные потенциалы будут известны и по ним можно найти в любой точке основные напряжения, а также нормальные и касательные напряжения [1, 2]. Если некоторый эллипс  $L_l$  переходит в прямолинейный разрез (трещину или жесткое линейное включение), то в его концах можно определить коэффициенты интенсивности напряжений (КИН) [2].

**Описание результатов численных исследований.** Численные исследования проводились для бесконечной пластинки из алюминия с эллиптическим отверстием и краевой трещиной при ее растяжении усилиями  $p$  поперек трещины (см. рисунок). При проведении численных исследований оставлялось от 30 до 100 членов в бесконечных рядах и бралось от 200 до 400 «коллокационных точек» на каждом из контуров. В таблице для



пластинки с эллиптическим отверстием с полуосями  $b_1 / a_1 = 2$  и краевой трещиной длины  $l$  в зависимости от отношения  $l / a_1$  и центрального угла  $\theta$ , отсчитываемого от положительного направления оси  $Ox$ , с точностью до интенсивности приложенной нагрузки  $p$  приведены значения

$\theta$ , рад.	$l / a_1$				
	0,01	0,1	0,5	1	2
$\pi / 36$	1,983	0,923	-0,046	-0,070	-0,007
$\pi / 12$	1,946	1,777	0,329	-0,154	-0,126
$\pi / 6$	1,769	1,722	1,018	0,212	-0,269
$\pi / 3$	0,714	0,701	0,446	-0,053	-0,834
$\pi / 2$	-1,000	-1,001	-1,019	-1,094	-1,303
$2\pi / 3$	0,714	0,719	0,794	0,939	1,216
$\pi$	2,000	2,003	2,055	2,163	2,394

нормальных напряжений  $\sigma_s$  в точках контура отверстия. Из данных таблицы видно, что при увеличении длины краевой трещины значения напряжений уменьшаются в зоне около точки выхода трещины на контур и увеличиваются в зоне, противоположной точке выхода.

*Исследования проводились в ФГБОУ ВО ДонГУ в рамках государственного задания (№ госрегистрации 1023030100040-4-1.1.2;2.3.1).*

### Список литературы

1. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н.И. Мусхелишвили. – М.: Наука, 1966. – 708 с.
2. Калоеров С.А. Концентрация напряжений в многосвязных изотропных пластинках / С.А. Калоеров, Е.В. Авдюшина, А.Б. Мироненко. – Донецк: Изд-во ДонГУ, 2013. – 440 с.
3. Drmač Z. New fast and accurate Jacobi SVD algorithm. 1 / Z. Drmač, K. Veselič // SIAM J. Matrix Anal. Appl. – 2008. – Vol. 29, № 4. – P. 1322–1342.



## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБ ИЗГИБЕ МНОГОСВЯЗНОЙ АНИЗОТРОПНОЙ ПЛИТЫ С ЖЕСТКО ПОДКРЕПЛЕННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

*Миرونчук А.И.*, канд. физ.-мат. наук  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*a.zanko@donnu.ru*

**Введение.** В различных сферах современной промышленности широко применяются тонкие плиты, изготовленные из композиционных материалов, содержащие отверстия и трещины. Под действием внешних воздействий вблизи этих отверстий и трещин могут возникать высокие уровни напряжений, приводящие к потере прочности элементов. Все это необходимо учитывать при проектировании и расчете элементов конструкций на прочность. Следовательно, требуется иметь достоверные методы для определения напряженно-деформированного состояния (НДС) многосвязных плит.

В данной работе приведено решение задачи для случая плиты с двумя одинаковыми круговыми отверстиями, подкрепленными абсолютно жесткими кольцами (ядрами) при действии изгибающих моментов на бесконечности для различных значений расстояния между контурами. Рассматриваемая задача сведена к решению системы линейных алгебраических уравнений. Проведены численные исследования, где было изучено влияние геометрических характеристик отверстий, их количества и расположения, а также физико-механических параметров материалов плит, воздействия внешних сил, а также методов подкрепления контуров на значения изгибающих моментов.

**Постановка задачи и метод ее решения.** Рассмотрим тонкую анизотропную плиту, которая занимает бесконечную многосвязную область  $S$  с произвольно расположенными жестко подкреплёнными эллиптическими отверстиями  $L_l$  ( $l = \overline{1, \mathcal{L}}$ ) с полуосями  $a_l, b_l$ . Будем считать, что плита находится под действием моментов  $M_y^\infty = m_y$ ,  $M_x^\infty = H_{xy}^\infty = 0$ , действующих на бесконечности.

Определение НДС рассматриваемой плиты при использовании теории функций комплексных переменных [1–3] сводится к нахождению функций  $W_k(z_k)$  ( $k = 1, 2$ ) с учетом граничных условий. Используя методы конформных отображений и разложений функций в ряды Лорана, для производных этих функций получаем выражения вида [3, 4]

$$W_k'(z_k) = \Gamma_k z_k + \sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{kln}(z_k) a_{kln}, \quad (4)$$

в которых  $\Gamma_k$  – постоянные определяемые из известной системы уравнений [3];  $\varphi_{kln}(z_k)$  – функции, определяемые из конформных отображений;  $a_{kln}$  – неизвестные коэффициенты определяемые из граничных условий на контурах отверстий. Удовлетворяя этим условиям обобщенным методом наименьших квадратов [5], для нахождения коэффициентов  $a_{kln}$  получим нижеследующую переопределенную систему уравнений

$$2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^{\mathcal{L}} \sum_{n=1}^{\infty} g_{kli} \delta_k \varphi'_{kln}(t_{klm}) a_{kln} = \\ = \frac{df_{li}(t_{lm})}{ds} - 2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 \delta_k g_{kli} \Gamma_k \quad (l = \overline{1, \mathcal{L}}; m = \overline{1, M_l}; i = 1, 2), \quad (5)$$

где

$$g_{kl1} = 1, \quad g_{kl2} = \mu_k, \quad \delta_k = dz_k/ds, \quad \frac{df_{l1}(t)}{ds} = 0, \quad \frac{df_{l2}(t)}{ds} = 0.$$

После определения псевдорешений системы уравнений (5) с использованием сингулярных разложений постоянные  $a_{kln}$ , а следовательно и функции, будут известными и по ним можно вычислять изгибающие моменты по формулам

$$(M_x, M_y, H_{xy}) = -2\operatorname{Re} \sum_{k=1}^2 (p_k, q_k, r_k) W_k''(z_k), \quad (6)$$

где  $p_k, q_k, r_k$  – постоянные, зависящие от коэффициентов деформации плиты.

**Описание результатов численных исследований.** Численные исследования проведены для случая плиты с двумя одинаковыми эллиптическими отверстиями, подкрепленными абсолютно жесткими кольцами (ядрами) при действии изгибающих моментов на бесконечности для различных значений расстояния между контурами. В ходе проведения численного исследования количество членов рядов и точек, в которых удовлетворяли граничным условиям, увеличивались до тех пор, пока эти условия не удовлетворялись с достаточной точностью. Плита считалась изготовленной из изотропного материала алюминий (материал М1) и сильно анизотропного материала – стеклопластик косоугольной намотки (М2).

В таблице для плиты с двумя одинаковыми круговыми отверстиями радиуса  $a$  ( $a_1 = a_2 = b_1 = b_2 = a$ ) приведены значения моментов  $M_n, M_s$  около контура левого отверстия на площадках, перпендикулярных к контуру, в зависимости от центрального угла  $\theta$ , отсчитываемого от положительного направления оси  $Ox$  и от отношения  $c/a$ , где  $c$  – расстояние между контурами отверстий. Значения моментов для  $c/a = \infty$

относятся к случаю плиты с одним круговым отверстием. Для этого случая вычисленные значения моментов для изотропной и анизотропной плит оказались совпадающими с их значениями, получаемыми по точным решениям задачи.

Материал	Моменты	$\theta$ , рад.	$c/a$					
			$\infty$	2	1	0,5	0,1	0,01
M1	$M_s$	0	-0,467	-0,364	-0,318	-0,370	-0,838	-2,868
		$\pi/2$	0,866	0,779	0,758	0,751	0,750	0,754
		$\pi$	-0,467	-0,447	-0,449	-0,458	-0,482	-0,505
	$M_n$	0	-1,866	-1,455	-1,272	-1,479	-3,352	-11,471
		$\pi/2$	3,466	3,118	3,034	3,002	2,999	3,017
		$\pi$	-1,866	-1,787	-1,796	-1,831	-1,929	-2,018
M2	$M_s$	0	-0,222	-0,189	-0,157	-0,146	-0,328	-1,177
		$\pi/2$	0,190	0,178	0,173	0,170	0,169	0,170
		$\pi$	-0,222	-0,214	-0,213	-0,215	-0,225	-0,235
	$M_n$	0	-0,808	-0,687	-0,572	-0,531	-1,194	-4,280
		$\pi/2$	2,470	2,309	2,243	2,212	2,200	2,208
		$\pi$	-0,808	-0,778	-0,775	-0,782	-0,818	-0,855

Из таблицы видно, что, чем ниже «степень анизотропии», тем больше уровень концентрации изгибающих моментов. С уменьшением расстояния между отверстиями значения моментов значительно растут. Наибольшие изменения моментов наблюдаются в зоне перемычки между контурами. Вдали от перемычки между контурами отверстий значения моментов изменяются незначительно.

*Исследования проводились в ФГБОУ ВО ДонГУ в рамках государственного задания (№ госрегистрации 1023030100040-4-1.1.2;2.3.1).*

### Список литературы

1. Лехницкий С.Г. Анизотропные пластинки / С.Г. Лехницкий. – М.: Гостехиздат, 1957. – 463 с.
2. Меглинский В.В. Некоторые задачи изгиба тонких многосвязных анизотропных плит / В.В. Меглинский // Некоторые задачи теории упругости о концентрации напряжений и деформации упругих тел. – 1967. – Вып. 3. – С. 97–127.
3. Калоеров С.А. Комплексные потенциалы теории изгиба многосвязных анизотропных плит / С.А. Калоеров // Теорет. и прикладная механика. – 2012. – № 4 (50). – С. 115 – 136.
4. Калоеров С.А. Двумерное напряженно-деформированное состояние многосвязного анизотропного тела / С.А. Калоеров, Е.С. Горянская // Концентрация напряжений. Механика композитов: В 12 т. – К.: А. С. К., 1998. – Т. 7. – С. 10–26.
5. Форсайт Дж. Машинные методы математических вычислений / Дж. Форсайт, М. Малькольм, К. Моулер. – М.: Мир, 1969. – 280 с.

**БАЗИСНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИ  
РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ ИЗГИБНЫХ ВОЛН В  
ПРОТЯЖЕННЫХ ЦИЛИНДРАХ С УЧЕТОМ ТРЕХФАКТОРНОГО  
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗАКОНА РАДИАЛЬНОЙ  
НЕОДНОРОДНОСТИ ИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА**

*Моисеенко И.А.*<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук, доц.,

*Моисеенко В.А.*<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук, доц.,

*Дзундза А.И.*<sup>1</sup>, д-р пед. наук, проф., *Мельничук Н.Ю.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

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

г. Макеевка, РФ

*miamia733@mail.ru*

**Введение.** В исследовании представлены два альтернативных варианта модели радиальной неоднородности физико-механических характеристик изотропного материала сплошного цилиндрического волновода для случая изгибных волн, на основе которых построены базисные аналитические решения системы дифференциальных уравнений целевой математической модели рассматриваемого волнового процесса.

**Постановка задачи.** Рассматривается имеющий в поперечном сечении форму круга радиуса  $R_*$  протяженный сплошной цилиндрический волновод, занимающий в нормированной параметром  $R_*$  безразмерной цилиндрической системе координат  $Or\theta z$  область  $V = \{r \in [0, 1], \theta \in [-\pi, \pi], z \in (-\infty, \infty)\}$ . Полагается, что радиально неоднородный материал волновода является изотропным

$$\lambda(r) = C_* \tilde{\lambda}(r), \quad \mu(r) = C_* \tilde{\mu}(r), \quad \rho(r) = \rho_* \tilde{\rho}(r) \quad (r \in [0, 1]). \quad (1)$$

Здесь

$$\tilde{\lambda}(r) > 0, \quad \tilde{\mu}(r) > 0, \quad \tilde{\rho}(r) > 0 \quad (r \in [0, 1]) \quad (2)$$

безразмерные, произвольные в пределах допустимости варьирования значений физико-механических характеристик, из класса  $C^2[0, \delta)$  ( $\delta > 1$ ) функциональные законы для модулей Ламе и плотности материала.

В рамках пространственной линейной математической модели волновой динамики рассматриваются распространяющиеся вдоль оси  $Oz$  волновода  $V$  с круговой частотой  $\omega$ , нормированным параметром  $R_*$  продольным волновым числом  $k$  ( $k \in \mathbb{C}$ ) и окружным волновым числом  $\tau$  ( $\tau \in \mathbb{N}$ ) нормальные упругие неосесимметричные изгибные волны. В результате применения метода разделения переменных задача сводится к построению образующих базис набора частных решений системы из трех

однородных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, которую в матричной форме можно представить в виде

$$\tilde{\mathbf{D}}^{(\tau)} \tilde{\mathbf{U}}^{(\tau)}(r) = \mathbf{O} \quad (r \in [0, \delta]), \quad (3)$$

где  $\tilde{\mathbf{U}}^{(\tau)}(r) = [\tilde{u}_r^{(\tau)}(r), \tilde{u}_\theta^{(\tau)}(r), \tilde{u}_z^{(\tau)}(r)]^T$  – вектор-столбец с вещественными радиальными составляющими пронормированных величиной  $R_*$  компонент вектора упругих перемещений,  $\mathbf{O}$  – нулевой вектор-столбец.

**Модель неоднородности.** В декартовой системе координат  $Ox_1x_2$  на плоскости комплексной переменной  $\xi = x_1 + ix_2$  формально полагается, что неотрицательная часть вещественной полуоси  $Ox_1$  совпадает с осью  $Or$ . Вводятся два альтернативных варианта модели неоднородности материала волновода, записанные через произвольные, аналитические в области  $|\xi| < \delta$  функции  $\varphi(\xi)$ ,  $\psi_1(\xi)$  и  $\psi_2(\xi)$  в виде:

$$\tilde{\lambda}(r) = (1 - 2\psi_1(r))e^{\varphi(r)}, \quad \tilde{\mu}(r) = \psi_1(r)e^{\varphi(r)}, \quad \tilde{\rho}(r) = \psi_2(r)e^{\varphi(r)} \quad (r \in [0, \delta]); \quad (4-A)$$

$$\tilde{\lambda}(r) = \psi_1(r)e^{\varphi(r)}, \quad \tilde{\mu}(r) = e^{\varphi(r)}, \quad \tilde{\rho}(r) = \psi_2(r)e^{\varphi(r)} \quad (r \in [0, \delta]). \quad (4-B)$$

В соотношениях (4-A), (4-B) и ранее  $\delta$  ( $\delta > 1$ ) – параметр, определяемый ниже из достаточных условий несильной радиальной неоднородности материала волновода. Для представленных вариантов модели неоднородности (4-A) и (4-B) рассматриваются два альтернативных подхода к определению по заданным функциональным законам (2) функций  $\varphi(\xi)$ ,  $\psi_1(\xi)$  и  $\psi_2(\xi)$  – аналитический, в виде разложений вида

$$\varphi(\xi) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n^{(0)} \xi^n, \quad \psi_s(\xi) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n^{(s)} \xi^n \quad (s = \overline{1, 2}) \quad (5)$$

с определяемыми из соответствующих выбранной модели соотношений

$$\varphi(\xi) = \ln(\hat{\lambda}(\xi) + 2\hat{\mu}(\xi)), \quad \psi_1(\xi) = \hat{\mu}(\xi)/(\hat{\lambda}(\xi) + 2\hat{\mu}(\xi)),$$

$$\psi_2(\xi) = \hat{\rho}(\xi)/(\hat{\lambda}(\xi) + 2\hat{\mu}(\xi)) \quad (|\xi| < \delta); \quad (6-A)$$

$$\varphi(\xi) = \ln(\hat{\mu}(\xi)), \quad \psi_1(\xi) = \hat{\lambda}(\xi)/\hat{\mu}(\xi), \quad \psi_2(\xi) = \hat{\rho}(\xi)/\hat{\mu}(\xi) \quad (|\xi| < \delta) \quad (6-B)$$

коэффициентами  $a_n^{(s)}$  ( $s = \overline{0, 2}; n = \overline{0, \infty}$ ), и приближенный, реализующий любым численным методом аппроксимацию полиномами

$$\varphi(\xi) = \sum_{n=0}^N a_n^{(0)} \xi^n, \quad \psi_s(\xi) = \sum_{n=0}^N a_n^{(s)} \xi^n \quad (s = \overline{1, 2}) \quad (7)$$

на отрезке  $r \in [0, 1]$  заданных функциональными законами (2) соотношений

$$\varphi(r) \approx \ln(\tilde{\lambda}(r) + 2\tilde{\mu}(r)), \quad \psi_1(r) \approx \tilde{\mu}(r)/(\tilde{\lambda}(r) + 2\tilde{\mu}(r)),$$

$$\psi_2(r) \approx \tilde{\rho}(r)/(\tilde{\lambda}(r) + 2\tilde{\mu}(r)) \quad (r \in [0, 1]); \quad (8-A)$$

$$\varphi(r) \approx \ln(\tilde{\mu}(r)), \quad \psi_1(r) \approx \tilde{\lambda}(r)/\tilde{\mu}(r), \quad \psi_2(r) \approx \tilde{\rho}(r)/\tilde{\mu}(r) \quad (r \in [0,1]). \quad (8-Б)$$

Указанные подходы к нахождению искомым функции  $\varphi(\xi)$ ,  $\psi_1(\xi)$  и  $\psi_2(\xi)$  обеспечивают построение целевого базисного набора частных решений уравнения (3) если выполняется достаточное условие несильной радиальной неоднородности. В случае аналитического подхода это условие имеет единый для обоих вариантов модели неоднородности вид

$$1 < \delta \leq \min\left(\left|\xi_{s_*}^{(1)}\right|, \left|\xi_{s_*}^{(2)}\right|\right), \quad (9)$$

где  $\xi_{s_*}^{(1)}$  и  $\xi_{s_*}^{(2)}$  – наименьшие по модулю нули функций соответственно  $\hat{\lambda}(\xi) + 2\hat{\mu}(\xi)$  и  $\hat{\mu}(\xi)$ . Для приближенного подхода это условие имеет вид

$$1 < \delta \leq |s_*|, \quad (10)$$

где  $s_*$  – наименьший по модулю нуль соответственно функции  $\psi_1(\xi)$  для варианта (7), (8-А), либо функции  $\psi_1(\xi) + 2$  для варианта (7), (8-Б).

**Базисное решение.** После подстановки соотношений выбранной модели неоднородности (4-А) либо (4-Б) в матричный оператор  $\hat{\mathbf{D}}^{(\tau)}$  уравнения (3) рассматривается аналитическое продолжение полученного уравнения на плоскость комплексной переменной  $\xi$  и для каждого варианта модели неоднородности (4-А) и (4-Б) в виде

$$\hat{\mathbf{U}}^{(\tau, q)}(\xi) = \left[ \xi^{\eta_q} \sum_{p=0}^{\infty} d_p^{(1, q)} \xi^p, \xi^{\eta_q} \sum_{p=0}^{\infty} d_p^{(2, q)} \xi^p, \xi^{\eta_q + 1} \sum_{p=0}^{\infty} d_p^{(3, q)} \xi^p \right]^T \quad (q = \overline{1, 3}),$$

$$\eta_1 = \eta_2 = \tau - 1, \quad \eta_3 = \tau + 1 \quad (11)$$

строятся три векторных частных решения уравнения

$$\hat{\mathbf{D}}^{(\tau)} \hat{\mathbf{U}}^{(\tau, q)}(\xi) = \mathbf{O} \quad (|\xi| < \delta). \quad (12)$$

Элементы векторных частных решений (11) представлены разложениями с определяемыми из явных рекуррентных соотношений коэффициентами  $d_p^{(s, q)}$  ( $s, q = \overline{1, 3}; p = \overline{0, \infty}$ ) аналитических в области  $|\xi| < \delta$  функций.

Матричное базисное решение уравнения (3) тогда определяется так:

$$\tilde{\mathbf{U}}^{(\tau, basic)}(r) = \left[ \hat{\mathbf{U}}^{(\tau, 1)}(r), \hat{\mathbf{U}}^{(\tau, 2)}(r), \hat{\mathbf{U}}^{(\tau, 3)}(r) \right]. \quad (13)$$

**Заключение.** Представленные результаты имеют приложение в прикладных исследованиях, связанных с расчетом характеристик волноводных компонентов акустоэлектронных устройств, верификацией результатов, полученных прямыми численными методами.

*Исследования проводились в ФГБОУ ВО «ДонГУ» в рамках государственного задания (№ госрегистрации 1023030100040-4-1.1.2; 2.3.1).*

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АНИЗОТРОПНОГО МАССИВА С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКОЙ

*Нескородев Р.Н.*, д-р физ.-мат. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*r.neskorodiev@donnu.ru*

**Введение.** В работе [1] для изотропного и в работе [2] для трансверсально-изотропного массива с вертикальной выработкой кругового сечения получены точные решения, описывающие напряженно-деформированное состояние вблизи полости от собственного веса. В данной работе предлагается решение трехмерной задачи теории упругости анизотропного тела, представляющей собой массив горных пород с вертикальной выработкой. Получены результаты численных исследований для выработок эллиптического сечения.

**Постановка задачи.** Рассматривается массив горных пород, ограниченный дневной поверхностью и отнесенный к прямоугольной декартовой системе координат  $Oxyz$ . От горизонтальной плоскости  $Oxy$  внутрь проведена вертикальная полость в виде цилиндра эллиптического сечения. Требуется определить напряженно-деформированное состояние массива вблизи полости от действия сил собственного веса.

Считается, что свойства горных пород в разных направлениях различны и для описания их поведения используется модель упругого анизотропного тела. Предполагается линейная связь между напряжениями и деформациями, выраженная обобщенным законом Гука в форме [2]

$$\varepsilon_i = \sum_{k=1}^6 a_{ik} \sigma_k \quad \text{или} \quad \sigma_i = \sum_{k=1}^6 A_{ik} \varepsilon_k. \quad (1)$$

где  $a_{ik}$  – коэффициенты деформации, а  $A_{ik}$  – модули упругости,  $i = \overline{1,6}$ .

Для компактной записи уравнений (1) введены следующие обозначения

$$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6 \quad \text{для} \quad \sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{xz}, \tau_{xy};$$

$$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5, \varepsilon_6 \quad \text{для} \quad \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}, \gamma_{xy}.$$

Уравнения (1) вместе с уравнениями равновесия и соотношениями Коши образуют полную систему дифференциально-алгебраических соотношений, описывающих упругие процессы в анизотропных средах.

Массив рассматривается как тяжелое упругое полупространство, свободное от напряжений на дневной поверхности

$$\sigma_3 = \sigma_4 = \sigma_5 = 0 \quad \text{при} \quad z = 0. \quad (2)$$

Для определения компонент напряжений и перемещений необходимо проинтегрировать уравнения равновесия с учетом закона Гука при граничных условиях (2).

Проекция вектора перемещений  $u_k(x, y, z)$  и напряжения  $\sigma_i(x, y, z)$  далее представляются в виде суммы

$$u_k = u_k^0 + u_k^* \quad (k = 1, 2, 3), \quad \sigma_i = \sigma_i^0 + \sigma_i^* \quad (i = \overline{1, 6}), \quad (3)$$

где функции  $u_k^0$  и  $\sigma_i^0$  определяют решение в нетронутом массиве, а  $u_k^*$  и  $\sigma_i^*$  – отражают влияние выработки.

### Перемещения и напряжения в сплошном анизотропном массиве.

При определении компонент напряженно-деформированного состояния в нетронутом массиве под действием сил тяжести считается, что толща пород представлена однородными по плотности породами, т.е. плотность  $\rho = const$ . Отсутствие границ в направлении осей  $Ox$  и  $Oy$  накладывает ограничения на компоненты напряжений и перемещений. Они не должны зависеть от этих координат. Поэтому [2]

$$u_k^0 = u_k^0(z) \quad (k = 1, 2, 3), \quad \sigma_i^0 = \sigma_i^0(z) \quad (i = \overline{1, 6}). \quad (4)$$

Для определения величин  $u_k^0$  и  $\sigma_i^0$  необходимо проинтегрировать уравнения равновесия и уравнения закона Гука (1) при условиях (2) на границе полупространства. В принятой системе координат (ось  $Oz$  направлена вниз) объемные силы имеют вид  $X = Y = 0$ ,  $Z = \rho g = \gamma$ . В результате получается

$$\sigma_i^0 = \tau_i \sigma_3^0 = -\tau_i \gamma z, \quad (i = \overline{1, 6}), \quad u_k^0 = -\alpha_k \gamma z^2 / 2 + c_k, \quad (k = 1, 2, 3). \quad (5)$$

Здесь введены обозначения  $\tau_3 = 1$ ,  $\tau_4 = \tau_5 = 0$ , а величины  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_6$  и  $\alpha_k$  определяются из системы уравнений

$$a_{i1} \tau_1 + a_{i2} \tau_2 + a_{i6} \tau_6 = -a_{i3} \tau_3 \quad (i = 1, 2, 6) \quad (6)$$

и соотношений

$$\alpha_1 = \sum_{n=1}^6 a_{5n} \tau_n, \quad \alpha_2 = \sum_{n=1}^6 a_{4n} \tau_n, \quad \alpha_3 = \sum_{n=1}^6 a_{3n} \tau_n. \quad (7)$$

**Перемещения и напряжения в массиве с вертикальной выработкой.** Поле перемещений и напряжений, которое формируется за счет появления в массиве вертикальной выработки, описываются функциями  $u_k^*(x, y, z)$ , которые являются результатом интегрирования однородных уравнений равновесия, удовлетворяющих условиям (2). Если плоскости изотропии слоистого массива наклонены под различными углами вокруг осей  $Ox$  и  $Oy$ , то имеет место случай анизотропного массива, обладающего плоскостью упругой симметрии. Общее представление решения для функций перемещений выражено через пять аналитических функций обобщенных комплексных переменных



$$u_1^* = 2\operatorname{Re}[u_{11}\varphi_1' + u_{12}\varphi_2' + u_{14}\varphi_4' + u_{15}\varphi_5']z, \quad u_2^* = 2\operatorname{Re}[u_{21}\varphi_1' + u_{22}\varphi_2' + u_{24}\varphi_4' + u_{25}\varphi_5']z, \\ u_3^* = 2\operatorname{Re}\left[u_{31}\varphi_1 + u_{32}\varphi_2 + u_{34}\varphi_4 + u_{35}\varphi_5 + u_{33}\varphi_3 + \frac{z^2 - H^2}{2}(u_{34}^*\varphi_4'' + u_{35}^*\varphi_5'')\right]. \quad (8)$$

Напряжения  $\sigma_i^*$  выражаются через перемещения (8) по формулам

$$\sigma_i^* = 2\operatorname{Re}[s_{i1}\varphi_1'' + s_{i2}\varphi_2'' + s_{i4}\varphi_4'' + s_{i5}\varphi_5'']z \quad (i=1,2,3,6), \quad (9) \\ \sigma_i^* = 2\operatorname{Re}\left[s_{i1}\varphi_1' + s_{i2}\varphi_2' + s_{i4}\varphi_4' + s_{i5}\varphi_5' + s_{i3}\varphi_3' + \frac{z^2 - H^2}{2}(s_{i4}^*\varphi_4''' + s_{i5}^*\varphi_5''')\right] \quad (i=4,5).$$

Здесь  $u_{ij}$  и  $s_{ij}$  – комплексные параметры, зависящие от упругих постоянных материала,  $\varphi_j(z_j)$  – функции обобщенных комплексных переменных, содержащие произвол для удовлетворения граничным условиям на боковой поверхности вертикальной полости.

**Численные исследования.** Численные исследования проведены для случаев, когда варьировались геометрия эллиптической выработки и материал из которого сложены горные породы. В качестве материалов выбирались трансверсально-изотропные материалы алевролит и песчаник [3]. Рассматривался массив, ослабленный выработкой эллиптического сечения с полуосями  $a$  и  $b$ , направление которых совпадает с направлением осей  $Ox$  и  $Oy$  соответственно. Полуось  $a$  принималась равной двум метрам, а  $b$  – варьировалась. Расчеты проведены для случаев когда  $b=1$ ,  $b=2$  или  $b=3$  метрам.

Во всех рассмотренных случаях напряжения являются сжимающими. Наиболее подходящей выработкой, в случае, когда плоскость изотропии совпадает с плоскостью  $Oxy$ , является круговая, так как вокруг нее образуется равномерно распределенное поле напряжений. Если же плоскость изотропии наклонена к горизонту, то возможен поиск подходящей конфигурации выработки с точки зрения более равномерного распределения вокруг нее напряжений.

*Исследования проводились в ФГБОУ ВО ДонГУ в рамках государственного задания (№госрегистрации 1023030100040-4-1.1.2;2.3.1).*

### Список литературы

1. Динник А.Н. Распределение напряжений вокруг подземных выработок / А.Н. Динник, А.Б. Моргаевский, Г.Н. Савин // Тр. совещ. по управл. горным давлением. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1938. – С. 7–55.
2. Лехницкий, С. Г. Теория упругости анизотропного тела / С.Г. Лехницкий. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
3. Ержанов Ж.С. Сейсмонапряженное состояние подземных сооружений в анизотропном слоистом массиве / Ж.С. Ержанов, Ш.М. Айталиев, Ж.К. Масанов. – Алма-Ата: Наука, 1980. – 212 с.

## НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИН ТЕРМИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОРОДНОМ МАССИВЕ СО СКВАЖИНАМИ НАГНЕТЕНИЯ ПРОГРЕТОГО ПАРА

*Полянский Д.Д., Номбре С.Б.*, канд. физ.-мат. наук, доц.,  
*Сторожев С.В.*, д-р техн. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
г. Макеевка, РФ  
*s.v.storozhev@donnasa.ru*

**Введение.** Задачи исследования моделей напряженно-деформированного состояния геомассивов с туннельными цилиндрическими скважинами при наличии высокоинтенсивных тепловых воздействий на их поверхности, наряду с теоретическим интересом к описанию фундаментальных закономерностей в структуре инициируемых таким образом термомеханических полей, связаны, в частности, с современными перспективными специальными технологиями приконтурного прогрева некоторых типов горных пород в процессе добычных работ. Как отмечено в работах [1, 2], прогрев горного массива подаваемым по скважинам высокотемпературным паром является принципиально важным технологическим приемом добычных мероприятий в процессе разработки титаносодержащих нефтенасыщенных руд и подлежит детальному описанию при проектно-технологических расчетах. Подлежащим учету фактором в математическом моделировании охарактеризованных термомеханических полей является крайне высокая степень параметрической неопределенности расчетных алгоритмов [3], обусловленная существенными разбросами в экспериментальных и экспертных данных о характеристиках рассматриваемых объектов и процессов, массивы которых, во многих случаях в недостаточной мере отвечают требованиям к статистической природе исходной информации.

Соответственно, целью данной работы является разработка алгоритма учета неконтрастности исходных физико-механических и геометрических параметров в модели формирования термомеханических полей в геомассиве вокруг цилиндрической туннельной скважины кругового сечения с равномерно прогреваемой поверхностью на основе нечетко-множественного подхода с применением аппарата арифметики треугольных нечетких чисел и альфа-уровневой модификации эвристического принципа расширения [4].

### **Расчетные соотношения детерминистического варианта модели.**

В рамках рассматриваемого подхода используется гипотеза выделения в окрестности скважины заполненной геоматериалом области в виде протяженного концентрического полого цилиндра, внутренней поверхностью которого является имеющая заданную температуру

разогрева поверхность скважины, а радиус  $r = b$  внешней выбирается из соображений падения температуры разогрева материала массива до относительно нулевого значения. Соответственно, при введении цилиндрической системы координат  $Or\theta z$ , связываемой с уединенной технологической скважиной прогрева радиуса  $r = a$ , рассматриваются следующие положения модели:

– нагнетание перегретого пара в скважину обеспечивает поддержание на ее поверхности прироста температуры  $\vartheta_0$ , а на некотором удалении от оси скважины  $r = b$  в глубине массива температуру формируемого таким способом теплового поля можно считать нулевой, то есть

$$\vartheta(a, \theta, z) = \vartheta_0, \quad \vartheta(b, \theta, z) = 0; \quad (1)$$

– в ортогональных осевому направлению скважины  $Oz$  сечениях массива распределения иницируемых осесимметричных полей термических напряжений являются идентичными.

Описание двумерных осесимметричных полей температур и термических напряжений в рассматриваемом цилиндре представлено в работе [5] и имеет вид

$$\vartheta(r, \theta, z) = F_\vartheta(r, a, b, \vartheta_0) = \vartheta_0 (\ln(b/r) / \ln(b/a)), \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{rr}(r, \theta, z) &= F_{rr}(r, a, b, \lambda, \mu, \vartheta_0, \alpha_\vartheta) = \\ &= -m\mu\vartheta_0 [\ln(b/r) / \ln(b/a) - (b^2/r^2 - 1) / (b^2/a^2 - 1)], \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\theta\theta}(r, \theta, z) &= F_{\theta\theta}(r, a, b, \lambda, \mu, \vartheta_0, \alpha_\vartheta) = \\ &= -m\mu\vartheta_0 [\ln(b/r) / \ln(b/a) + (b^2/r^2 + 1) / (b^2/a^2 - 1)], \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{zz}(r, \theta, z) &= F_{zz}(r, a, b, \lambda, \mu, \vartheta_0, \alpha_\vartheta) = \\ &= -m\mu\vartheta_0 [(2\ln(b/r) - \lambda / (2(\lambda + \mu))) / \ln(b/a) + (\lambda / (\lambda + \mu)) / (b^2/a^2 - 1)], \end{aligned} \quad (5)$$

$$m = \gamma / (\lambda + 2\mu), \quad \gamma = (3\lambda + 2\mu)\alpha_\vartheta, \quad (6)$$

$\lambda$  и  $\mu$  – параметры Ламе геоматериала,  $\alpha_\vartheta$  – коэффициент его линейного температурного расширения. Представления (2)–(5) и являются базовыми соотношениями для получения учитывающих параметрическую неопределенность нечетко-множественных оценок термических напряжений в породном массиве со скважинами нагнетания перегретого пара.

**Нечетко-множественный алгоритм учета неконтрастности параметров.** Представляемый подход аналогичен описанному в работе [5] и базируется на фаззификации обладающих разбросами значений исходных неконтрастных физико-механических и геометрических параметров рассматриваемой модели с последующим переходом к нечетко-множественным аргументам в расчетных соотношениях ее детерминистической версии. Вводятся задаваемые нормальными треугольными нечеткими числами  $\tilde{a}, \tilde{b}, \tilde{\lambda}, \tilde{\mu}, \tilde{\vartheta}_0, \tilde{\alpha}_\vartheta$  обобщенные представления неконтрастных параметров, для которых записываются выражения в форме кортежей опорных значений и разложений по множествам  $\alpha$ -уровня

$$\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3) = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{a}_\alpha, \bar{a}_\alpha], \quad \underline{a}_\alpha = (1-\alpha)a_1 + \alpha a_2, \quad \bar{a}_\alpha = (1-\alpha)a_3 + \alpha a_2; \quad (7)$$

$$\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3) = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{b}_\alpha, \bar{b}_\alpha], \quad \underline{b}_\alpha = (1-\alpha)b_1 + \alpha b_2, \quad \bar{b}_\alpha = (1-\alpha)b_3 + \alpha b_2; \dots;$$

$$\tilde{\alpha}_g = (\alpha_{g1}, \alpha_{g2}, \alpha_{g3}) = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\alpha}_{g\alpha}, \bar{\alpha}_{g\alpha}], \quad \underline{\alpha}_{g\alpha} = (1-\alpha)\alpha_{g1} + \alpha\alpha_{g2}, \quad \bar{\alpha}_{g\alpha} = (1-\alpha)\alpha_{g3} + \alpha\alpha_{g2};$$

и для неконтрастных результирующих параметров модели  $\tilde{\sigma}_{rr}$ ,  $\tilde{\sigma}_{\theta\theta}$ ,  $\tilde{\sigma}_{zz}$ ,  $\tilde{g}$  также вводятся представления разложениями по  $\alpha$ -срезам

$$\tilde{g} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{g}_\alpha, \bar{g}_\alpha], \quad \tilde{\sigma}_{rr} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\sigma}_{rr\alpha}, \bar{\sigma}_{rr\alpha}], \quad \tilde{\sigma}_{\theta\theta} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\sigma}_{\theta\theta\alpha}, \bar{\sigma}_{\theta\theta\alpha}], \quad \tilde{\sigma}_{zz} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\sigma}_{zz\alpha}, \bar{\sigma}_{zz\alpha}]. \quad (8)$$

В данных представлениях, согласно [5],

$$\underline{g}_\alpha(r) = F_g(r, \underline{a}_\alpha, \underline{b}_\alpha, \underline{g}_{0\alpha}), \quad \bar{g}_\alpha(r) = F_g(r, \bar{a}_\alpha, \bar{b}_\alpha, \bar{g}_{0\alpha}). \quad (9)$$

$$\underline{\sigma}_{rr\alpha}(r) = \inf_{\substack{a \in [\underline{a}_\alpha, \bar{a}_\alpha] \\ b \in [\underline{b}_\alpha, \bar{b}_\alpha]}} F_{rr}(r, a, b, \underline{\lambda}_\alpha, \underline{\mu}_\alpha, \underline{g}_{0\alpha}, \underline{\alpha}_{g\alpha}), \quad \bar{\sigma}_{rr\alpha}(r) = \sup_{\substack{a \in [\underline{a}_\alpha, \bar{a}_\alpha] \\ b \in [\underline{b}_\alpha, \bar{b}_\alpha]}} F_{rr}(r, a, b, \underline{\lambda}_\alpha, \underline{\mu}_\alpha, \underline{g}_{0\alpha}, \underline{\alpha}_{g\alpha});$$

$$\underline{\sigma}_{\theta\theta\alpha}(r) = \inf_{\substack{a \in [\underline{a}_\alpha, \bar{a}_\alpha] \\ b \in [\underline{b}_\alpha, \bar{b}_\alpha]}} F_{\theta\theta}(r, a, b, \underline{\lambda}_\alpha, \underline{\mu}_\alpha, \underline{g}_{0\alpha}, \underline{\alpha}_{g\alpha}), \quad \bar{\sigma}_{\theta\theta\alpha}(r) = \sup_{\substack{a \in [\underline{a}_\alpha, \bar{a}_\alpha] \\ b \in [\underline{b}_\alpha, \bar{b}_\alpha]}} F_{\theta\theta}(r, a, b, \underline{\lambda}_\alpha, \underline{\mu}_\alpha, \underline{g}_{0\alpha}, \underline{\alpha}_{g\alpha});$$

$$\underline{\sigma}_{zz\alpha}(r) = \inf_{\substack{a \in [\underline{a}_\alpha, \bar{a}_\alpha] \\ b \in [\underline{b}_\alpha, \bar{b}_\alpha] \\ \lambda \in [\underline{\lambda}_\alpha, \bar{\lambda}_\alpha] \\ \mu \in [\underline{\mu}_\alpha, \bar{\mu}_\alpha]}} F_{zz}(r, a, b, \lambda, \mu, \underline{g}_{0\alpha}, \underline{\alpha}_{g\alpha}), \quad \bar{\sigma}_{zz\alpha}(r) = \sup_{\substack{a \in [\underline{a}_\alpha, \bar{a}_\alpha] \\ b \in [\underline{b}_\alpha, \bar{b}_\alpha] \\ \lambda \in [\underline{\lambda}_\alpha, \bar{\lambda}_\alpha] \\ \mu \in [\underline{\mu}_\alpha, \bar{\mu}_\alpha]}} F_{zz}(r, a, b, \lambda, \mu, \underline{g}_{0\alpha}, \underline{\alpha}_{g\alpha});$$

Использование расчетных соотношений (7)–(9) позволяет решить задачу учета разбросов значений исходных параметров при предпроектном моделировании рассматриваемых технологических процессов.

*Исследования проводились в ФГБОУ ВО ДонГУ в рамках государственного задания (№ госрегистрации 1023030100040-4-1.1.2;2.3.1).*

### Список литературы

1. Долгий И.Е. Температурные напряжения в породном массиве, вызванные стационарным температурным полем / И.Е. Долгий, В.И. Власенко // Записки Горного института. – 2007. – Т. 172. – С. 52–56.
2. Тюнькин Б.А. Опыт подземной разработки нефтяных месторождений и основные направления развития термошахтного способа добычи нефти / Б.А. Тюнькин, Ю.П. Коноплев. – Ухта: Ухтинский государственный университет, 1996. – 158 с.
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. Hanss M. Applied Fuzzy Arithmetic. An introduction with Engineering Application / M. Hanss. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. – 253 p.
5. Номбре С.Б. Анализ неконтрастной модели осесимметричного термонапряженного состояния полого цилиндра / С.Б. Номбре, Д.Д. Полянский, С.В. Сторожев, Чан Ба Ле Хоанг // Журн. теорет. и прикладной механики. – 2022. – № 4 (81). – С. 63–76.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ СВЕРХНИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

*Рогов Н.В.*, канд. экон. наук., *Сычев С.В.*

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, РФ  
*nik\_rogov\_78@mail.ru*

Значение Арктики существенно в последнее время повышается для России, это объясняется увеличением добычи полезных ископаемых и разработки новых месторождений, а также здесь проходит Северный морской путь, находятся объекты военной инфраструктуры и большая протяженность государственной границы. Активный интерес к освоению Арктики в России возник в начале 1930-х годов, особенно, когда Иван Дмитриевич Папанин возглавил экспедицию на дрейфующей станции «СП-1». За короткий период по всему Северному морскому пути были построены полярные станции, которые в настоящее время ведут регулярные метеорологические наблюдения и выполняют слежение за подводными лодками. Доставка грузов и товаров в Арктику обеспечивается различными видами транспорта: автомобильным, воздушным, железнодорожным и водным (рис. 1) [1].

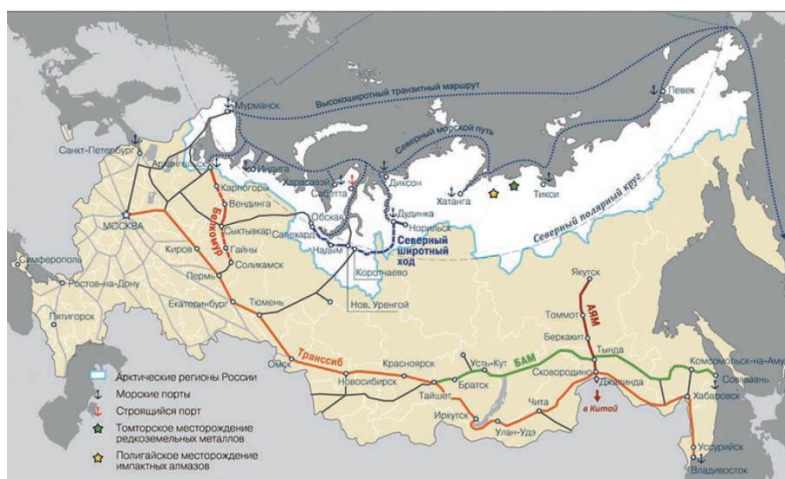


Рис. 1. Развитие железнодорожной и морской инфраструктур Арктики и Сибири [1]

На рисунке 1 видно, что в восточной части Арктики железнодорожная сеть отсутствует, поэтому доставку грузов и товаров осуществляют морским транспортом, но он имеет сезонность, так как морская навигация в основном здесь ведется с мая по октябрь, в отличие от воздушного транспорта. Воздушный транспорт производит круглогодичную доставку грузов и товаров. Современное развитие авиации характеризуется созданием и внедрением новых композиционных материалов

и технологий [2]. Использование композиционных материалов позволило снизить вес воздушного судна. В самолетостроении композиционные материалы, а это, в основном, стекло- и углепластики, применяются в малонагруженных деталях. На рис. 2 представлена динамика применения композиционных материалов в самолетостроении, увеличивающаяся с каждым годом [3].

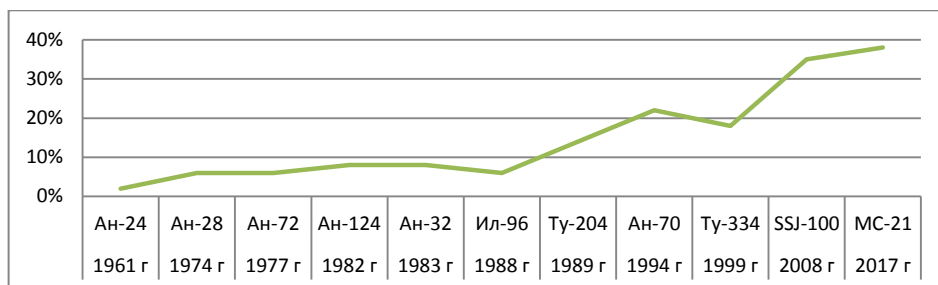


Рис. 2. Доля применения композиционных материалов в самолетостроении

В Арктике воздушные судна эксплуатируются без ангара, и поэтому особенно в зимний период более вероятны попадания посторонних предметов в конструкцию воздушного судна. В литературе принято рассматривать отрицательную температуру наружного воздуха как низкую (до минус 40 °С) и экстремально низкую (от минус 40 °С) [4]. Воздушное судно должно сохранять работоспособность после длительного нахождения при экстремально низкой температуре. Поэтому изучение изменения механических свойств и формы композиционных материалов при внешних воздействиях, в частности, при экстремально низкой температуре, представляет большой интерес.

В данной работе для исследования механических свойств ударной вязкости по Шарпи был исследован композиционный материал. Охлаждение образцов производили в специальной установке (рис. 3).



Рис. 3. Охлаждение образцов в специальной установке

Марка образцов КМУ-4Л с наполнителем ЛУ-13 и связующим – эпоксисоволачной фенольнобакелитовой смолой. Образцы были без надреза, с направлением удара – в ребро. Перед экспериментом охлаждение образцов производили при разной экстремально низкой температуре в специальной охлаждающей установке до 10 суток с помощью твердого диоксида углерода CO<sub>2</sub>. Результаты исследования представлены на рис. 4.

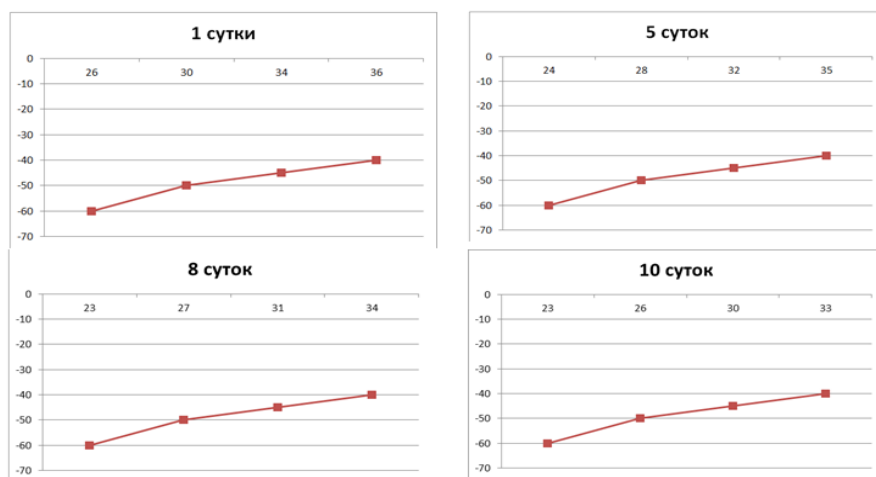


Рис. 4. Результаты исследования

Перед испытанием все образцы проверялись визуально-оптическим методом неразрушающего контроля на предмет дефектов.

Таким образом, во время проведения исследования было выявлено, что ударная вязкость уменьшается с понижением температуры и исследуемые образцы после 8 дней воздействия экстремально низких температур показывают несколько ниже поглощение энергии удара. При этом в образцах наблюдаются расслаивание матрицы материала и разрыв волокон, поэтому при экстремально низкой температуре образцы становились более хрупкими.

Для успешного применения композиционных материалов в конструкциях самолетов, эксплуатируемых в Арктике, необходимо дальнейшее исследование механических свойств образцов с другими наполнителями и связующими.

#### Список литературы

1. Грузинов В.М. Арктические транспортные магистрали на суше, акваториях и в воздушном пространстве / В.М. Грузинов, Ю.В. Зворыкина, Г.В. Иванов и др. // Арктика: экология и экономика. – 2019. – № 1 (33). – С. 6-20. – DOI 10.25283/2223-4594-2019-1-6-20. – EDN GKYZOW
2. Александров Д.В. Перспективы применения композиционных материалов в авиастроении / Д.В. Александров, С.Б. Маликов // Идеи и новации. – 2020. – Т. 8, № 3. – С. 160–163. – EDN OWOPEE.
3. Фейгенбаум Ю.М. Композиционные материалы и история их внедрения в авиационные конструкции / Ю.М. Фейгенбаум, С.В. Бутушин, Д.Г. Божевалов, Ю.С. Соколов // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2015. – № 7 (318). – С. 24–37. – EDN UAXHCR.
4. Горбунов В.П. Проблемы эксплуатации современных самолетов в условиях низких и сверхнизких температур Сибири, Севера и Арктики / В.П. Горбунов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2014. – № 204. – С. 110-114. – EDN SJFZIJ.

# ***Информационно-документационное обеспечение управления***

УДК 004.4:664

## **ЦИФРОВОЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ КАК ИНСТРУМЕНТ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ОТРАСЛИ**

***Балдынюк А. И.***

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*h.baldyniuk@donnu.ru*

**Введение.** Актуальность вопросов импортозамещения возросла в связи с антироссийскими санкциями, что в целом способствовало росту уровня цифровой зрелости предприятий и увеличению отечественного производства. Пищевая промышленность России, как одна из лидеров по сокращению зависимости от импорта, активно внедряет цифровые технологии, платформенные бизнес-модели, которые выступают ключевым драйвером и цифровой стратегией перспективного развития пищевых предприятий. Цифровой документооборот стал неотъемлемым инструментом импортозамещения, элементом сбалансированного развития и инвестиционной привлекательности предприятий пищевой промышленности.

**Целью** работы является обзор цифрового формата развития предприятий пищевой промышленности в условиях импортозамещения.

**Основная часть.** Санкции, введённые против России западными странами, сыграли положительную роль в активном движении пищевой промышленности к увеличению отечественного производства и сокращению зависимости от импорта. Государство проводит успешную политику импортозамещения и разрабатывает меры государственной поддержки производителей путём льготного налогообложения, кредитования, внедрения новых технологий. Разрабатываются и вносятся поправки в нормативно-правовые акты, регулирующие данные виды деятельности. Так, постановление Правительства от 28.02.2023 № 318 вносит существенные изменения в акты Правительства РФ по импортозамещению, постановление № 617 «Об ограничениях допуска промышленной продукции» включает в себя отклонение предложений с иностранными заявками в случае, если поступила хотя бы одна заявка с предложением товара из ЕАЭС, в постановлениях Правительства № 616, 617, 102 изменен перечень продукции [1].



Создана электронная цифровая площадка «Биржа импортозамещения», представляющая сервис, основанный на базе Государственной информационной системы промышленности, позволяющий осуществлять закупки импортозамещающих аналогов оригинальных товаров и товаров отечественного производства [2].

Электронные торговые площадки поддерживают электронные формы обмена документами между контрагентами.

Для эффективной работы собственных производств, импортозамещения и производства отечественной конкурентной продукции необходимо повышать уровень инновационной активности предприятий пищевой промышленности, тем самым обеспечивая продовольственную безопасность государства.

Стоит отметить, что предприятия пищевой промышленности довольно активно инвестируют в инновационные технологии, например, пищевых продуктов, пищевых добавок и биологически активных веществ. Весьма эффективно используются биотехнологии в создании продуктов нового поколения, ресурсосберегающие технологии вторичных ресурсов и отходов перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса. Наблюдается модернизация и реконструкция и в перерабатывающих отраслях агропромышленного комплекса.

Пищевые предприятия отличаются интенсивным документооборотом с поставщиками сырья и дистрибьюторами, поэтому различают внутрикорпоративный, межкорпоративный и документооборот с государственными органами. Необходимость эффективного взаимодействия с большим количеством контрагентов обязывает предприятия использовать цифровые технологии и переходить на собственные разработки систем электронного документооборота, которые учитывают потребности и особенности делопроизводства пищевой промышленности:

1. Потребность в типовой документации, обеспечивающей документооборот непрерывного выпуска продукции, имеющей ограниченные сроки.

2. Быстрая подготовка и согласование технологической документации (техкарт и рецептур).

3. Интеллектуальная обработка документов и выявление расхождений в договорах.

4. Унификация работы с клиентами и разделение её на отдельные стадии в зависимости от потребностей и готовности продукции.

5. Юридически значимый электронный обмен документами с контрагентами.

6. Соблюдение требований и ГОСТов.

7. Автоматическая архивация документов и отправка.

Предприятия пищевой промышленности, имеющие сложные внутренние структуры, выпускающие продукцию в больших объёмах,

осознают необходимость перевода производственных процессов в цифровые формы, что позволит обеспечить выпуск качественных товаров, полноценный контроль технологических задач, инвестирование в оборудование.

Необходимо отметить перспективные направления применения цифровых технологий и продуктов в отраслях пищевого производства: роботизация сортировки сырья, дополненная реальность, машинное зрение, применение искусственного интеллекта, системы анализа больших данных на основе аналитики обширной информации, умная упаковка, визуальные системы машинной оценки качества готовой продукции, RFID-метки, искусственная пища, технологии 3D-печати.

Несмотря на разнообразие существующих решений электронный документооборот можно реализовать с помощью специальных программ и кастомизации пищевых предприятий.

**Заключение.** Цифровизация процессов делопроизводства на предприятиях пищевой промышленности в условиях импортозамещения поможет обеспечить информационную безопасность; осуществлять электронное взаимодействие с органами государственной власти; расширить масштабы работы с поставщиками и потребителями посредством использования цифровых технологий; свести к минимуму риск потери документов благодаря контролю местонахождения оригинала и его бумажных копий; ускорить работу с документами; оптимизировать процессы выдачи и контроля исполнения поручений; быстрее находить документы; оптимизировать бизнес-процессы, связанные с юридически значимым документооборотом; структурированно хранить документацию и ускорять процессы её исполнения и хранения.

### **Список литературы**

1. Антонов, В. Н. Цифровизация импортозамещения: перспективы и прогноз / В. Н. Антонов // Социально-экономические процессы: новое видение, вызовы, тенденции. – 2022. – С. 45-61.
2. Биржа импортозамещения – официальный сайт. – URL: <https://etpgpb.ru/portal/import-substitution/> (дата обращения: 27.09.2023).
3. Пономаренко, Н. Ш. Инновационная активность предприятий пищевой промышленности: тенденции, проблемы, направления повышения / Н. Ш. Пономаренко, А. И. Балдынюк // Экономика и предпринимательство. – № 12. – 2022. – С. 1035-1041.

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

*Гайдарь Е.В.*, канд. экон. наук

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*e.gaydar@donnu.ru*

**Введение.** Современное предприятие представляет собой сложную экономическую систему, управление и контроль которого требует наличия соответствующего обеспечения для обработки информации, полученной в результате управленческого, финансового и бухгалтерского учета. Оценка эффективности методов сбора и обработки этой информации, то есть управленческий контроль, является важной составляющей функционирования предприятия.

**Цель исследования** разработка принципов информационного обеспечения управленческого контроля.

**Основная часть.** В большинстве хозяйствующих субъектах актуальна потребность в интегрированной методической и инструментальной базе для поддержки основных управленческих функций – планирования, контроля, учета и анализа, координации различных аспектов управления бизнес-процессами.

Задачи управления организации реализуются посредством специальных инструментов. Инструментарий имеет свою специфику и зависит от конкретной концепции службы управления.

Управлять все более сложными и объемными потоками управленческой информации для решения текущих задач можно только с использованием современных информационных технологий, для чего необходима разработка соответствующего информационного обеспечения.

Информационное обеспечение управленческого контроля представляет собой взаимосвязанную совокупность информационных потоков, экономико-математических методов и моделей, технических, программных и технологических средств, которая позволяет осуществлять обработку информации.

В современной экономике деятельность предприятия должна быть направлена на реализацию и усиление контрольной функции, что может быть достигнуто только в результате перехода к модели системно-ориентированного контроллинга. Это требует широкого применения методов экономико-математического моделирования и информационных технологий [1, 2].

Все это обуславливает актуальность исследований информационного обеспечения управленческого контроля на предприятии.

Вопросам управленческого контроля на предприятии посвящены работы ряда авторов [3, 4, 5]. Однако большинство исследователей рассматривают проблему разработки управленческого контроля на предприятии без учета особенностей разработки соответствующего информационного обеспечения, а также без выделения специфики существующих при этом информационных потоков. Поэтому возникает необходимость в разработке принципов формирования информационного обеспечения управленческого контроля.

Одной из наиболее актуальных частей проблемы разработки информационного обеспечения управленческого контроля является определение целей пользователей информационного обеспечения, а также анализ потребляемой ими информации.

Управленческий контроль позволяет оценить эффективность использования ресурсов для достижения целей предприятия, а также правильность ведения учета. При этом могут быть выделены две группы пользователей управленческого контроля: внешние и внутренние.

К внешним пользователям относятся экономические субъекты, имеющие интересы в предприятии, такие как акционеры, инвесторы, кредиторы и т.п.

Внутренними пользователями управленческого контроля являются непосредственно лица, принимающие решения, то есть менеджеры высшего и среднего звена.

В контроле финансового состояния заинтересованы, прежде всего, внешние пользователи, которым необходимо принимать решения о взаимодействии с предприятием исходя из его платежеспособности, финансовой устойчивости и ликвидности.

В свою очередь, контроль эффективности использования ресурсов предприятия необходим внутренним пользователям, которым необходимо принимать решения по максимизации финансового результата путем разработки и реализации различных мероприятий.

Контроль ведения управленческого учета должен позволять оценить, как выполняются основные требования к отчетности, в частности:

достоверность отчетности;

полнота отчетности;

своевременность ведения учета;

качество обработки информации при учете.

Достоверность отчетности определяется надежностью первичных источников, на основании которых она строится.

Полнота информации, используемой в управленческом учете, определяется методами управления. Так, при использовании систем поддержки принятия решений, руководители могут обрабатывать гораздо больше информации, чем в ручном режиме.

Кроме того, полнота информации определяется целями контроля, то есть, какие именно показатели, характеризующие функционирование предприятия, должны быть предоставлены заинтересованным лицам.

Своевременность ведения учета определяется возможностью использования получаемой информации при принятии управленческих решений без нарушения установленной процедуры и регламента. То есть, учет осуществляется своевременно, если информация без задержек попадает на каждый иерархический уровень обработки.

Контроль качества обработки информации, использующейся в бухгалтерском, финансовом и управленческом учете должен включать следующие направления:

оценку эффективности используемых методов передачи информации;

оценку правильности трансформаций информации;

обеспечение прав доступа к информации с целью недопущения ее искажений;

регистрация действий, производимых с информацией.

**Заключение.** Таким образом, разработанные принципы построения информационного обеспечения управленческого контроля позволят более качественно оценивать ведение планирования, учета и анализа, координации различных аспектов управления бизнес-процессами предприятия.

### Список литературы

1. Информационные системы и технологии в экономике и управлении в 2 ч. Часть 1 : учебник для вузов / ответственный редактор В. В. Трофимов. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 375 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-09090-1
2. Красс, М. С. Математика в экономике: математические методы и модели : учебник для среднего профессионального образования / М. С. Красс, Б. П. Чупрынов ; под редакцией М. С. Красса. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 541 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-9916-9136-9.
3. Контроллинг: теория и практика : учебник и практикум для вузов / С. В. Осипов [и др.] ; под общей редакцией С. В. Осипова. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 145 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-08402-3
4. Каверина, О. Д. Управленческий учет : учебник и практикум для вузов / О. Д. Каверина. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 428 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-15968-4.
5. Кононенко, И. В. Разработка метода анализа информации для выбора оптимальной методологии управления проектом / И. В. Кононенко, А. В. Харазий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 1. – № 13(55). – С. 4-7.

## О ЦИФРОВИЗАЦИИ ОКАЗАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ УСЛУГ

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

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*k.korobeinikova@donnu.ru*

**Введение.** Цифровизация системы государственных услуг является важным сценарием для повышения качества услуг. Она включает в себя библиотеки данных, цифровые площадки, цифровую безопасность и логистику, комплексные системы управления и т. д.

Государственные услуги непосредственно связаны с жизненными интересами людей и являются важной частью социального строительства. Информатизация, интеллект и цифровизация могут помочь инновациям в методах предоставления государственных услуг и повышению их качества.

**Основная часть.** Цифровизация процессов оказания государственных услуг предполагает организацию платформы информационной модели и платформы службы управления операциями, создание системы городских ресурсов данных, и продвигать интеллектуальные города, управление которыми осуществляется на основе цифровых технологий. В настоящее время волоконно-оптические сети и сети мобильной связи 4G охватывают более 99,9 % административных единиц. Сценарии применения информации становятся все более сложными.

Модель цифровизации в сфере государственных услуг постепенно заменила традиционную модель обслуживания, принося множество удобств в жизнь людей. В то же время необходимо в полной мере учитывать и учитывать способности и особенности различных групп, особенно пожилых людей и инвалидов, в применении цифровых технологий, ускорить построение доступности информации и помочь широкой общественности поделить новыи цифровая жизнь.

При оказании цифровых государственных услуг особое значение имеют показатели безопасности и надежности. Чтобы ускорить построение цифрового общества, мы важно не только обеспечить технологический прогресс, надежность и стабильность, но также поддерживать онлайн-культуру, защищать личные права и интересы, укреплять систему социального кредитования и продвигать управление киберпространством. Особенно благодаря глубокой интеграции различных биометрических технологий и цифровых технологий, «проведение лица» и «нажатие отпечатков пальцев» смогут широко использоваться в повседневной жизни людей, и потенциальные угрозы безопасности станут быть нивелированы. Это требует, как можно скорее, создания и совершенствования стандартной системы и правовой системы для построения цифрового общества, совершенствования соответствующего

законодательства, активизации усилий по популяризации права, а также строгого правоприменения и правосудия для обеспечения гарантий безопасного и упорядоченного развития цифрового общества.

Особое значение имеет ускорение создания цифровой инфраструктуры, включая инфраструктуру сетей связи, представленную 5G, Интернетом вещей, промышленным Интернетом и спутниковым Интернетом, инфраструктуру новых технологий, представленную искусственным интеллектом, облачными вычислениями, блокчейном и т. д., центры обработки данных, инфраструктуру интеллектуальных вычислений, представленную вычислительные центры и т.д. Ускорение создания информационной инфраструктуры поможет продвигать инновации в области цифровых технологий и обогащать сценарии интеллектуальных приложений [2, с. 118].

Это требует поддержания общего руководства построением цифровизации оказания государственных услуг, корректировки и оптимизации государственных функций, регулирования отношений между государством, рынком и обществом, реформирования управления отношениями между городскими и сельскими районами, различными уровнями управления и различными ведомствами, углублением децентрализации предоставления услуг, а также оптимизации процессов административного управления, создания хорошей рыночной и социальной среды.

Кроме того, требуется разработка онлайн- и офлайн-интеграции цифровых данных, введение аутентификация личности, новых видов удобных и необходимых услуг, а также онлайн-просвещения по различным вопросам.

Интеграция системы государственных услуг призвана содействовать созданию новой модели услуг для жителей в виде «одного окна» на основе использования карты социального обеспечения в качестве носителя. Опираясь на интегрированную онлайн-систему государственных услуг по социальному обеспечению, важно улучшить функции интегрированной системы государственных услуг, оказывать услуги в сфере занятости и предпринимательства, предоставлять жителям полную и достоверную информацию о трудоустройстве и др.

Интерактивная платформа оказания государственных услуг является важным способом практиковать массовую онлайн-линию и является продолжением закрытых государственных организаций в офлайн-среде. Это эффективный способ понять массы, сблизиться с массами и решить проблемы масс в эпоху Интернета. Платформа взаимодействия с государственными органами, опирающаяся на Интернет и технологии больших данных удовлетворяет разнородные и сложные потребности масс, и выстраивают интерактивный диалог между государственными органами и обществом, формируя новые каналы сотрудничества.

Многие современные платформы взаимодействия с населением в форме ответов на сообщения, созданные некоторыми государственными

органами на своих веб-сайтах, не сформировали стандартный и строгий институциональный процесс ответа на сообщения, и не могут рассматриваться как норма, что затрудняет эффективное удовлетворение требований населения.

Кроме того, особое значение имеет качество и уровень работы по обработке сообщений пользователей сети, уточнение процедур, требований к работе и рабочих обязанностей соответствующих ведомств по реагированию на сообщения пользователей сети, а также включение обработки сообщений в различных местах в оценку и управление целевой системой ответственности.

Целью государственных услуг, с другой стороны, является институциональное построение правительственной интерактивной платформы также изменит долгосрочное инструментальное мышление государственных ведомств, сформирует институционализированную логику управления и управление мышления и адаптироваться к требованиям развития информатизации.

Государственная интерактивная платформа с носителем контента «Интернет + Госуслуги» способствует трансформации госуслуг из государственного предложения в массовый спрос. Функции интерактивной платформы уже давно превратили ее в организационный механизм реагирования государственных органов на нужды населения, который играет важную роль в сборе общественного мнения и реализации целевой политики.

**Заключение.** Таким образом, реализация принципа построения «унифицированного механизма планирования, развертывания и управления применительно к построению платформ взаимодействия между государственными органами, интеграции цифровых ресурсов будет способствовать открытому обмену цифровой информации на основе обеспечения безопасности данных. С одной стороны, интенсивное создание интерактивной платформы государственных органов подчеркивает «ориентированную на пользователя» ценностную ориентацию платформы, предоставляет унифицированные онлайн-услуги и помогает населению получать государственные услуги в онлайн-формате, выражать свои требования в Интернете; а с другой стороны, обмен данными между ведомствами разных уровней, позволяя им быстро реагировать и быстро решать насущные, трудные и тревожные проблемы.

### Список литературы

1. Приказ Минцифры России «Об утверждении методик расчета целевых показателей национальной цели развития Российской Федерации "Цифровая трансформация"» от 18 ноября 2020 г. № 600 (ред. от 14 января 2021 г. № 9) // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения: 30.09.2023).
2. Колесников, Ю. А. Цифровизация власти через цифровизацию финансовых механизмов / Ю. А. Колесников, В. П. Городецкий // Вестник юридического факультета Южного федерального университета. – 2023. – Т. 10, № 2. – С. 118-122.



## ФОРМИРОВАНИЕ АРХИВНОЙ СРЕДЫ КАК ЭЛЕМЕНТА СОЦИОКУЛЬТУРНОГО ПРОСТРАНСТВА

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

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*n.mashchenko@donnu.ru*

**Введение.** Архивы – это уникальные источники информации, которые хранят сведения о прошлом каждой страны и позволяют понять ее историю, культуру и общество. Сохранение и организация архивных документов имеет глубокий социокультурный смысл, так как они являются элементами национального наследия и способствуют формированию архивной среды – среды, которая обеспечивает доступность и использование архивных материалов для поддержания и продвижения культурных и научных ценностей.

К тому же, архивная среда играет важную роль в сохранении и передаче культурного наследия и многогранного опыта нашего общества. Она помогает человечеству исследовать прошлое, понимать настоящее и строить будущее в пределах социокультурного пространства, которое понимается как историческое пространство, рассматриваемое с точки зрения культурных и социальных особенностей [1].

**Основная часть.** Архивная среда представляет собой сложную систему, включающую в себя архивные учреждения и архивные подразделения, а также совокупность архивных материалов, которые образуют архивное пространство и обеспечивают сохранение, обработку и использование архивных данных посредством различных методов и технологий под влиянием определенных факторов.

Таким образом, в архивной среде, во-первых, осуществляются процессы по сбору, упорядочению и систематизации документов и материалов различного характера. Во-вторых, в современной архивной среде также используются различные методы и технологии, такие как специальные условия хранения, дигитализация и архивная автоматизация, которые являются необходимым условием перехода архивной среды в цифровой формат.

Немаловажным механизмом формирования цифровой архивной среды является как раз использование цифровой трансмиссии информационных данных. Цифровые архивы могут быть доступны широкой аудитории через Интернет, что способствует распространению социокультурного наследия.

В-третьих, формирование архивной среды происходит под влиянием различных факторов, включая экономические, политические и

социальные. Важную роль в этом процессе играет государство, общественные организации и частные лица. Государство определяет законодательную базу, регулирует деятельность архивных учреждений и контролирует выполнение архивного законодательства. Общественные организации и частные лица участвуют в формировании архивов, предоставляют архивные материалы и оказывают поддержку архивным учреждениям.

Архивная среда предоставляет доступ к архивному материалу и обеспечивает его использование в научных исследованиях, создании исторических экспозиций, подготовке публикаций и других целях. Важными аспектами архивной среды являются конфиденциальность информации, обеспечение доступа к архиву и его использование в соответствии с законодательством. Работа в архивной среде требует специальных знаний и навыков, а также соблюдения профессиональных этических стандартов. Архивная среда является важным элементом национальной культурной инфраструктуры и способствует сохранению и передаче наследия будущим поколениям.

Архивная среда играет важную роль в формировании социокультурного пространства.

Прежде всего, архивная среда позволяет сохранить историческое и культурное наследие: исторические, культурные и социальные документы и материалы: письма, дневники, фотографии, аудио- и видеозаписи и многое другое, что создает условия для сохранения и передачи культурной и исторической памяти будущим поколениям и формируют основу идентификации нации. Сохранение и обработка архивных материалов является гарантией их долговременной доступности и сохранности для будущих поколений.

Архивная среда способствует формированию социального капитала и укреплению идентичности общества. Архивы и их содержимое помогают людям связаться с прошлым, с предками и со своими корнями. Они позволяют обращаться к первоисточникам, чтобы более точно интерпретировать прошлые события и проявления культуры, а также позволяют проводить анализ и прогнозирование развития общества. Архивы способствуют сохранению и продвижению истории, культуры и традиций нашей страны и народа. Архивы также служат площадкой для обмена идей и знаний, они стимулируют диалог и взаимодействие между различными сообществами. Это способствует формированию солидарности и взаимопонимания, что является важной основой для развития нашего общества.

А также, архивная среда является важным источником для научных исследований. Многие ученые, историки, социологи и другие специалисты полагаются на архивы при проведении своих исследований. Они могут анализировать документы, проводить статистический анализ, искать

образцы и тренды, изучать культурные и социальные изменения во времени. Архивы также предоставляют доступ к информации для студентов и академической общественности, что обогащает образовательный процесс и культуру исторического исследования. Изучение архивных документов позволяет более глубоко понять прошлое и осуществлять научные исследования в различных областях: истории, социологии, культурологии и т.д. Благодаря архивной среде исследователи могут подтверждать или опровергать различные теории, уточнять факты и создавать новые знания.

И, конечно же, архивы служат ценным ресурсом для системы образования и формирования культурного потенциала граждан.

Широкий доступ к архивным материалам может стимулировать развитие аналитического мышления у студентов, а также воспитывать уважение к национальной истории и культуре.

Проведение экскурсий в архивах и использование архивных документов в образовательных процессах способствует формированию нового поколения активных и патриотически воспитанных граждан.

**Заключение.** Формирование архивной среды как элемента социокультурного пространства имеет огромное значение для сохранения исторического наследия, научных исследований и образования. Архивы являются ценными источниками информации, которые позволяют лучше понять прошлое и вносят вклад в формирование культурного развития общества. Для успешного функционирования архивной среды необходимо взаимодействие государства, общественных организаций и частных лиц, а также создание эффективной законодательной базы и системы контроля за исполнением архивного законодательства.

### **Список литературы**

1. Бережанская, М. К. Понятие и характеристика современного социокультурного пространства / М. К. Бережанская, Е. А. Белецка, И. В. Губаренко // Материалы XIV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» – URL: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018030936> (дата обращения: 08.10.2023).

## МИНИМИЗАЦИЯ РИСКОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОЙ АСИММЕТРИИ

*Митрохина Е.А.*, канд. экон. наук  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*e.mytrokhina@donnu.ru*

**Введение.** Информационная асимметрия играет значительную роль в различных аспектах нашей жизни, особенно в бизнесе и финансах. Эта ситуация возникает, когда одна из сторон сделки располагает большим объемом информации по сравнению с другой стороной, что может привести к неравноправному распределению рисков и проблемам при принятии решений. В данной работе рассмотрим эффективные методы минимизации рисков при информационной асимметрии.

**Цель работы** – исследовать информационную асимметрию как фактор риска при принятии решений и определить эффективные методы для минимизации этого риска.

**Основная часть.** Информационная асимметрия представляет собой ключевой концепт, обсуждаемый в различных научных областях, включая экономику, социологию и финансы. В литературе встречается большое количество трактовок [1, 3], которые условно можно объединить следующим образом:

1. Экономическая трактовка (Джордж Акерлоф, Майкл Спенс, Джозеф Юджин Стиглиц).

В экономической литературе информационная асимметрия рассматривается как неравенство информации между сторонами в экономических сделках. Дж. Акерлоф в своей работе «The Market for Lemons» (1970) представил идею о том, как недостаток информации о товаре может привести к деформации рынка, где продавцы скрывают информацию о низком качестве товара. М. Спенс и Дж. Стиглиц разработали модели, объясняющие, как информационная асимметрия влияет на выбор профессии и инвестиции в образование.

2. Социологическая трактовка (Энтони Гидденс).

В социологии информационная асимметрия рассматривается с позиции социальных отношений и доверия в обществе. Э. Гидденс обсуждает, как неравенство доступа к информации влияет на социокультурные динамики и взаимодействие в обществе.

3. Финансовая трактовка (Роберт Шиллер, Юджин Фама).

В финансовой сфере информационная асимметрия связана с неравным доступом к информации о финансовых активах. Р. Шиллер исследует влияние информационной асимметрии на ценообразование на финансовых рынках, подчеркивая роль психологических факторов.

Ю. Фама занимается исследованием эффективности рынка и влиянием информации на решения инвесторов.

Сравнение различных трактовок информационной асимметрии, предложенных авторами в экономической, социологической и финансовой литературе, позволяет увидеть многогранный характер этого понятия и его воздействие на разнообразные аспекты общества и экономики. Каждая из перспектив выделяет уникальные аспекты и последствия информационной асимметрии, способствуя глубокому пониманию этого явления.

В работе под термином «информационная асимметрия» будем понимать ситуацию, когда одна сторона в сделке обладает большим объемом информации, чем другая сторона.

Информационная асимметрия может создавать неравные условия и вносить дополнительные риски в процесс принятия решений. Для минимизации рисков при информационной асимметрии существуют различные методы, которые могут помочь сбалансировать уровень информации между сторонами и повысить эффективность принятия решений [2], среди них можно выделить следующие:

1. Проведение детального анализа и исследований.

Один из первых шагов к минимизации рисков при информационной асимметрии – это осуществление тщательного анализа ситуации. Это включает в себя сбор и анализ всех доступных данных, а также изучение среды и условий, в которых принимается решение. Чем более детально вы разбираетесь в ситуации, тем менее вероятно, что информационная асимметрия окажет негативное воздействие.

2. Консультация с экспертами и специалистами.

Получение совета от экспертов, обладающих необходимыми знаниями и опытом, может быть важным шагом в снижении рисков. Эксперты способны предоставить дополнительную информацию, которая может быть недоступна из-за информационной асимметрии. Их анализ и рекомендации могут быть весьма ценными при принятии решений.

3. Использование инструментов и моделей анализа рисков.

Существуют различные инструменты и модели, предназначенные для анализа и оценки рисков. Они позволяют выявлять потенциальные угрозы и разрабатывать стратегии их минимизации. Применение таких инструментов может значительно повысить эффективность принятия решений при наличии информационной асимметрии.

4. Диверсификация портфеля и ресурсов.

Диверсификация является мощным средством снижения рисков. Распределение ресурсов и инвестиций между различными активами или проектами позволяет сгладить негативные воздействия возможных ошибок, вызванных информационной асимметрией.

5. Установление четких условий и контрактов.

При совершении сделок важно уделять особое внимание формированию контрактов и условий. Четкие и детальные соглашения

уменьшают возможность недоразумений и споров в случае возникновения проблем.

#### 6. Постоянное обновление и мониторинг информации.

Рыночные и бизнес-условия могут меняться, и, следовательно, важно постоянно обновлять информацию и анализировать текущие тренды. Это поможет своевременно реагировать на изменения среды и принимать обоснованные решения.

**Заключение.** Информационная асимметрия может представлять серьезные вызовы, но с применением вышеперечисленных методов риски можно существенно сократить. Кроме того, комбинированный подход, включающий в себя несколько из этих методов, часто оказывается наиболее эффективным. Важно помнить, что каждая ситуация уникальна, и выбор методов должен быть обоснован особенностями конкретной ситуации и целями принятия решения.

#### Список литературы

1. Елсуков, П. Ю. Информационная асимметрия и информационная неопределенность / П. Ю. Елсуков // ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2017. – №4 (4). – С. 69-76.
2. Кудж, С. А. Риски информационной асимметрии / С. А. Кудж // ПНиО. – 2017. – №1 (25). – С. 14-19.
3. Цветков, В. Я. Методы оценивания информационного преимущества / В. Я. Цветков // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – №4 (12). – С. 77-90.

УДК 005.92:004.63:658.8

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО- ДОКУМЕНТАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ МАРКЕТИНГОМ ОРГАНИЗАЦИИ

*Пономаренко Н.Ш.*, д-р экон. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*n.ponomarenko@donnu.ru*

**Введение.** Успех предприятия в современной маркетинговой среде определяется преимущественно эффективностью комплексного использования маркетинговых элементов в управлении и зависит от конкурентных возможностей, которые обеспечат его успех при реализации выбранного стратегического вектора развития. Высокая динамичность конкурентной среды в условиях цифровой экономики актуализирует вопросы эффективной трансформации информационно-документационного обеспечения управления маркетингом организации.

**Целью** работы является обзор динамики трансформации системы информационно-документационного обеспечения управления маркетингом организации.

**Основная часть.** Анализируя научные подходы к дефиниции «цифровой маркетинг», следует отметить, что одним из условий обеспечения ожидаемого успеха развития организации является совершенствование цифровых методов сбора, обработки, анализа информации, основным носителем которой являются документы. Информационные технологии и их реализация привели к цифровизации экономики, дали вектор развития субъектов хозяйствования, смены их приоритетов.

Следует полностью согласиться с М. С. Начкебией, которая под информационно-документационным обеспечение управления понимает: «организацию работы с документами с применением современных компьютерных технологий, включая помимо традиционной формы работы с документами информационное обеспечение работы с ними, создание, ведение и работу с базами данных в различных информационных системах» [1].

В данном аспекте предъявляются новые требования к организации системы документооборота и его составляющей – информационно-документационного обеспечения управления маркетингом организации.

Для осмысления глубинных процессов, происходящих в трансформации информационно-документационного обеспечения управления в современных условиях, следует учесть динамику трансформации документооборота организаций в контексте совокупности элементов последовательного процесса: «рационализация – автоматизация – цифровизация».

В рамках государственного масштаба в России осуществлено упорядочение информационного пространства, проведена унификация и стандартизации всей документации, предназначенной для отражения как экономической, так и маркетинговой информации. Определены требования к унифицированной системе документации, включающей комплекс взаимосвязанных документов, отвечающих единым правилам и требованиям построения; закреплена возможность архивирования документов длительного срока хранения в электронном виде. Это позволяет избежать распространённых ошибок при оформлении маркетинговой документации, которые могут привести к неправомерным действиям или неэффективным последствиям.

Такие мероприятия подтверждают, что система электронного документооборота обрела правовые, коммуникативные и административные контуры и представлена комплексом взаимосвязанных систем, которые регулируются перечнем организационно-нормативных документов.

Рост значимости информационных технологий в управлении маркетингом создал предпосылки и условия для активного развития интернет-маркетинга, совершенствования маркетинговых инструментов, появлению новых маркетинговых интернет-технологий, что

способствовало потребителям круглосуточно осуществлять свою деятельность. Окружённые смартфонами, планшетами и ноутбуками, покупатели получают безграничное количество информации о различных товарах и услугах, а продавцы активно используют широкую номенклатуру инструментов продвижения товаров в Интернет-среде.

Поскольку идёт полная переориентация глобальной модели ведения бизнеса, возникает необходимость применения новых маркетинговых технологий для установления доверительных отношений между производителем и потребителем.

Маркетинговая деятельность, как творческий и научный процесс, генерирует и потребляет огромные объёмы информации, документов, медиа-контента. Сложность и значимость производства продукта или исполнения услуги, предполагают множество различных операций, сопровождающихся документами, среди которых наибольший объём составляют договора. Процесс создания и обработки этих документов из-за большого объёма информации трудоёмкий.

Маркетинговая документация подразумевает мероприятия, нацеленные на повышение продаж и стимулирование спроса: грамотное ценообразование, создание ассортимента, соответствующего спросу и желаниям потребителей, продвижение и реклама, стимулирование сбыта.

Информационные технологии и автоматизация информационно – документационных потоков способствовали разработке и появлению новых гибридных видов документов наряду с бумажными и электронными, к которым можно отнести: биометрический паспорт, цифровую валюту, кредитную карту, проездные билеты, современные денежные купюры, снабжённые RFID-радиометками, смарт-карты и др.

Рассматривая все выше сказанное, можно констатировать, что маркетинговая деятельность в условиях цифровизации представляет собой сложный организационный процесс, в который вовлечены маркетологи производственных и торговых предприятий, цифровые технологии, ИТ-специалисты, логисты, потребители и пр., специалисты-документоведы, а электронные документы становятся все более привычными и массовыми.

**Заключение.** Согласно авторской позиции информационно-документационное обеспечение управления маркетингом в развивающемся цифровом пространстве требует особого научно-методического подхода, позволяющего оценить уровень его развития и проблем, разработкой которого вместе с маркетологами могут заняться специалисты в области документационного обеспечения управления.

#### **Список литературы**

1. Начкебия, М. С. Особенности информационно-документационного обеспечения в вузе / М. С. Начкебия // Актуальные проблемы современности: наука и общество. – 2019.– № 4 (25). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-informatsionno-dokumentatsionnogo-obespecheniya-v-vuze> (дата обращения: 07.10.2023).



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОРГАНАХ ЗАПИСИ АКТОВ ГРАЖДАНСКОГО СОСТОЯНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*ya.filatova@donnu.ru*

**Введение.** Развитие информационно-коммуникационных и цифровых технологий в России обеспечивает повышение эффективности функционирования экономики, государственного и местного управления, создание условий для возможности свободного доступа к информации и получения необходимых услуг гражданам, в том числе связанных с актами гражданского состояния (АГС) [1].

**Цель исследования** – рассмотреть применение информационных технологий в системе управления органами записи актов гражданского состояния (ЗАГС).

**Основная часть.** Ранее на территории Российской Федерации (РФ) органами ЗАГС использовались различные АИС (например, «ЗАГС-ЛИДЕР», «Находка-ЗАГС»). Однако в силу определенных недостатков существующие АИС решали далеко не все задачи органов ЗАГС. Для совершенствования сферы предоставления услуг населению было принято решение о создании федеральной государственной информационной системы «Единый государственный реестр записей актов гражданского состояния» (ЕГР ЗАГС), которая начала свою работу с 1 октября 2018 г. Таким образом, была поставлена задача сформировать единый информационный централизованный ресурс, содержащий полные сведения о населении РФ, в том числе сведения о государственной регистрации АГС.

Уже более пяти лет по всей стране органы ЗАГС осуществляют свою деятельность в ЕГР ЗАГС, основу которого составляет программное обеспечение, в котором проводится государственная регистрация всех видов записей актов, осуществляется внесение изменений и дополнений в уже существующие записи, в том числе действия по выдаче повторных документов, формирование ответов о предоставлении информации об актах гражданского состояния по запросам других органов.

Сегодня сотрудники органов ЗАГС могут выполнять любое действие по государственным услугам в сфере АГС, используя при этом все преимущества централизованной системы хранения данных, в частности:

1) иметь онлайн-доступ к ранее составленным актовым записям независимо от места их хранения на всей территории РФ;

2) по мере включения ранее составленных актовых записей в Реестр, в день обращения получать повторный документ: свидетельство или справку, независимо от того, где хранится актовая запись;

3) осуществлять проверки достоверности (уникальности) вносимых данных;

4) взаимодействовать со всеми участниками системы АГС – органами ЗАГС разных субъектов РФ только в электронной форме;

5) представлять сведения уполномоченным органам автоматизированным способом в электронном виде в среде системы межведомственного электронного взаимодействия (СМЭВ).

Разработанная информационная система основывается на облачных технологиях, а также содержит централизованное хранилище персональных данных. Для реализации проекта по созданию ФГИС «ЕГР ЗАГС» была проведена продуманная подготовительная работа, созданы специальные межведомственные рабочие группы, целью которых было разработка эффективных механизмов для решения самых насущных текущих вопросов и проблем при регистрации АГС. Автоматизированные рабочие места специалистов органов ЗАГС были оснащены соответствующим аппаратным и программным обеспечением, сформированы смарт-карты в системе контроля доступа, сотрудники ЗАГС прошли курсы повышения квалификации для возможности работы в новой системе [2].

Для наполнения реестра была проделана колоссальная работа: переведены миллионы архивных документов, актов гражданского состояния в электронный вид, конвертированы исторические записи прошлых лет для создания единого хранилища данных для органов ЗАГС, органов власти и граждан, начиная с 1926 года.

Необходимо подчеркнуть, что программное обеспечение государственного реестра не стоит на месте, а продолжает развиваться: исправляются всевозможные технические ошибки, добавляются новые функциональные возможности. Для отличного обслуживания и предоставления качественных услуг к специалистам органов ЗАГС предъявляются повышенные требования. Данные специалисты должны иметь не только важные профессиональные цифровые компетенции, но и обладать современными средствами коммуникации.

Большое значение имеет, что с 1 января 2022 года в сфере регистрации АГС действует принцип экстерриториальности. То есть получить нужную услугу можно в любом ЗАГСе России, независимо от места регистрации и проживания. Таким образом, ЕГР ЗАГС даёт возможность сократить сроки оказания услуг, исключает возможность расхождения выдаваемых документов, позволяет предоставлять услуги в электронном виде в личном кабинете портала «Госуслуги».

В 2023 году система ЗАГСов РФ полностью перейдет на электронный документооборот, так называемую реестровую модель [3]. Иными словами, все будет в электронном виде, и свидетельства в привычном виде – на официальных бумажных бланках с гербом и водяными знаками – получить будет нельзя. Однако возможность получить документ на бумаге сохранится. При обращении в органы ЗАГС

можно будет получить выписку из реестра, как в бумажном, так и в электронном видах.

На основе реестра ЗАГС к 2025 году в России будет создан Регистр населения. Это даст возможность повысить эффективность процесса принятия решений в сфере государственного и муниципального управления, их информативную открытость и прозрачность в условиях цифрового общества. Следовательно, будет реализовано необходимое для граждан межведомственное информационное взаимодействие.

Необходимо также сказать несколько слов об органах ЗАГС, располагающихся в новых субъектах РФ. В условиях непростого переходного периода, включающего интеграцию новых субъектов РФ в правовое и социально-экономическое пространство, в настоящее время подлежат основательному пересмотру, изменению и обновлению существующие механизмы и подходы к правовому и организационно-технологическому регулированию деятельности органов ЗАГС ДНР, ЛНР, Запорожской и Херсонской областей. Несмотря на сложность и масштабность ФГИС «ЕГР ЗАГС», необходимо разработать и реализовать план поэтапного внедрения данной информационной системы в промышленную эксплуатацию органов ЗАГС четырех новых регионов.

**Заключение.** Таким образом, использование информационно-коммуникационных и цифровых технологий в органах ЗАГС РФ привело к внедрению ФГИС «ЕГР ЗАГС» и переходу всех органов ЗАГС на новый формат работы. Составление записей АГС в форме электронного документа обусловило ужесточение требований к обеспечению защиты персональных данных заявителей, существенно изменило формы записей, документов строгой отчетности, а также правила их заполнения. Впереди органы ЗАГС РФ ждут новые горизонты и возможности, которые сделают их работу более значимой и ценной для граждан государства.

### Список литературы

1. Фионова, Л. Р. К вопросу развития нормативной законодательной базы в области регистрации актов гражданского состояния / Людмила Фионова, Марина Катыхшева. – DOI: 10.36121/lfionowamkatyszewa.17.2020.1.207. – Текст : электронный // Wschodni Rocznik Humanistyczny. – 2020. – Т. 7, № 1. – С. 207–216. – URL: [http://wrh.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/wrh\\_2020\\_17\\_Fionowa\\_Katyszewa.pdf](http://wrh.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/wrh_2020_17_Fionowa_Katyszewa.pdf) (дата обращения: 23.09.2023).
2. ЗАГС: шаг в цифровой век. – Текст : электронный // Самара и Губерния : областной журнал. – 2019. – № 1 (апрель). – URL: <http://www.sgubern.ru/articles/15739/15998/> (дата обращения: 23.09.2023).
3. Варсегова, Н. Безбумажная свадьба: в 2023 году ЗАГСы перестанут выдавать свидетельства о браке (а также о рождении, смерти и разводе) / Наталья Варсегова. – Текст : электронный // Комсомольская правда : [электронная газета] : [сайт]. – 7 июля 2022 г. – URL: <https://www.kp.ru/daily/27415/4614326/> (дата обращения: 23.09.2023).

# Математический анализ и дифференциальные уравнения

УДК 517.984

## О САМОСОПРЯЖЕННОСТИ НЕКОТОРОГО КЛАССА БЛОЧНЫХ ЯКОБИЕВЫХ МАТРИЦ

**Будыка В.С.**, канд. физ.-мат. наук

ФГБОУ ВО «Донецкая академия управления и государственной службы»,

г. Донецк, РФ

*budyka.vik@gmail.com*

**Введение.** Проблема вычисления индексов дефекта якобиевых матриц является первой основной задачей, естественно возникающей, как в спектральной теории якобиевых матриц, так и в проблеме моментов. Эта проблема привлекла значительное внимание, особенно в течение последних двух десятилетий.

**Цель** исследования – получить простые и явные условия самосопряженности класса блочных якобиевых матриц, ассоциированного с матричными операторами Шрёдингера с точечными взаимодействиями.

**Основная часть.** Рассмотрим блочные якобиевы матрицы

$$J = \begin{pmatrix} A_0 & B_0 & O_p & O_p & O_p & \dots \\ B_0^* & A_1 & B_1 & O_p & O_p & \dots \\ O_p & B_1^* & A_2 & B_2 & O_p & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Здесь  $A_n = A_n^*$ ,  $B_n \in \mathbb{C}^{p \times p}$ ,  $\det B_n \neq 0$ ,  $n \in \mathbb{N}_0 := \mathbb{N} \cup \{0\}$ ,  $O_p$  – нулевая матрица, и  $\mathbb{C}^{p \times p}$  – множество всех  $p \times p$ -матриц с элементами из  $\mathbb{C}$ . С матрицей  $J$  ассоциируют минимальный якобиев оператор в  $l^2(\mathbb{N}_0; \mathbb{C}^p)$ . Оператор  $J$  симметричен, но не обязательно самосопряжен.

**Теорема 1.** Пусть  $J$  – минимальный блочный якобиев оператор, ассоциированный с матрицей вида (1) и  $A = \text{diag}\{A_0, \dots, A_n, \dots\}$ ,  $\ker A = \{0\}$ . Пусть при некотором  $N \in \mathbb{N}_0$  выполнено хотя бы одно из условий:

- (i)  $\sup_{n \geq N} \|A_n^{-1} B_n\| \leq \frac{1}{2}, \quad \sup_{n \geq N} \|A_n^{-1} B_{n-1}^*\| \leq \frac{1}{2},$
- (ii)  $\sup_{n \geq N} \left( \|A_n^{-1} B_n\|^2 + \|A_n^{-1} B_{n-1}^*\|^2 \right) \leq \frac{1}{2},$
- (iii)  $\sup_{n \geq N} \left( \|A_n^{-1} B_n\|^2 + \|A_{n+2}^{-1} B_{n+1}^*\|^2 \right) \leq \frac{1}{2}.$

Тогда оператор  $J$  самосопряжен в  $l^2(\mathbb{N}_0; \mathbb{C}^p)$  и  $dom J = dom A$ .

Далее, в  $l^2(\mathbb{N}_0; \mathbb{C}^p)$  рассмотрим класс блочных якобиевых матриц, ассоциированных с матричными операторами Шрёдингера с точечными взаимодействиями.

$$J_H = \begin{pmatrix} \frac{1}{r_1^2} \tilde{\alpha}_1 & \frac{1}{r_1 r_2 d_2} I_p & O_p & O_p & O_p & \dots \\ \frac{1}{r_1 r_2 d_2} I_p & \frac{1}{r_2^2} \tilde{\alpha}_2 & \frac{1}{r_2 r_3 d_3} I_p & O_p & O_p & \dots \\ O_p & \frac{1}{r_2 r_3 d_3} I_p & \frac{1}{r_3^2} \tilde{\alpha}_3 & \frac{1}{r_3 r_4 d_4} I_p & O_p & \dots \\ O_p & O_p & \frac{1}{r_3 r_4 d_4} I_p & \frac{1}{r_4^2} \tilde{\alpha}_4 & \frac{1}{r_4 r_5 d_5} I_p & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где  $\{d_n\}_1^\infty \notin l^1(\mathbb{N})$ ,  $r_n = \sqrt{d_n + d_{n+1}}$  и

$$\tilde{\alpha}_n := \alpha_n + (d_n^{-1} + d_{n+1}^{-1}) I_p, \quad \alpha_n = \alpha_n^* \subseteq \mathbb{C}^{p \times p}, \quad n \in \mathbb{N}.$$

Применяя теорему 1 к матрице (2), получим явные условия самосопряженности оператора  $J_H$ .

**Теорема 2.** Пусть  $J_H$  – минимальный оператор ассоциированный с (2) в  $l^2(\mathbb{N}_0; \mathbb{C}^p)$  и  $\lim_{n \rightarrow \infty} d_n = 0$ . Пусть также  $A := \text{diag}\{\tilde{\alpha}_1 r_1^{-2}, \tilde{\alpha}_2 r_2^{-2}, \dots\}$  и  $\ker A = \{0\}$ . Предположим, что выполняется одно из условий

- (i)  $\limsup_{n \rightarrow \infty} \frac{r_n}{k_n} \|\tilde{\alpha}_n^{-1}\| \leq \frac{1}{2}, \quad k_n := \min\{r_{n-1} d_n; r_{n+1} d_{n+1}\},$
- (ii)  $\limsup_{n \rightarrow \infty} r_n^2 (r_{n-1}^{-2} d_n^{-2} + r_{n+1}^{-2} d_{n+1}^{-2}) \|\tilde{\alpha}_n^{-1}\|^2 \leq \frac{1}{2},$
- (iii)  $\limsup_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{r_{n+1}^2} \left( \frac{r_n^2}{d_{n+1}^2} \|\tilde{\alpha}_n^{-1}\|^2 + \frac{r_{n+2}^2}{d_{n+2}^2} \|\tilde{\alpha}_{n+2}^{-1}\|^2 \right) \leq \frac{1}{2}.$

Тогда оператор  $J_H$  самосопряжен.

**Заключение.** В данной работе получены новые условия самосопряженности якобиевых матриц с матричными элементами.

Данное исследование основано на статьях [1] и [2].

### Список литературы

1. Budyka, V. S. Deficiency indices and discreteness property of block Jacobi matrices and Dirac operators with point interactions / V. S. Budyka, M. M. Malamud // J. Math. Anal. Appl. – 2022. – Vol. 506, № 1. – Paper № 125582. – DOI: 10.1016/j.jmaa.2021.125582.
2. Будыка, В. С. Самосопряженность и дискретность спектра блочных якобиевых матриц / В. С. Будыка, М. М. Маламуд // Матем. заметки. – 2020. – Т. 108, № 3. – С. 457–462. – DOI: 10.4213/mzm12709.

## AN ANALOGUE OF THE JOHN UNIQUENESS THEOREM ON THE BESSEL-KINGMANN HYPERGROUP

**Krasnoschekikh G.V., Volchkov Vit.V.**, d-r phys.-math. sc., prof.  
FSBEI HE "Donetsk State University", Donetsk, RF  
*v.volchkov@donnu.ru*

Let  $\alpha > -\frac{1}{2}$ . Denote by  $L_{\#, \alpha}^{1, loc}(I_R)$  the space of even locally summable functions with respect to the measure  $|x|^{2\alpha+1} dx$  on the interval  $I_R = (-R, R)$ ,  $0 < R \leq +\infty$ . Assume that  $0 < r < R \leq +\infty$  and let  $f \in L_{\#, \alpha}^{1, loc}(I_R)$ . We study an equation of the form

$$\int_0^r T_y^\alpha f(x) x^{2\alpha+1} dx = 0, \quad y \in I_{R-r}, \quad (1)$$

where

$$T_x^\alpha f(y) = \frac{\Gamma(\alpha + 1)}{\sqrt{\pi} \Gamma\left(\alpha + \frac{1}{2}\right)} \int_0^\pi f\left(\sqrt{x^2 + y^2 - 2xy \cos \theta}\right) (\sin \theta)^{2\alpha} d\theta.$$

It is established that the solutions of this equations are completely determined by their values on the interval  $I_r$ .

**Theorem.** *Let  $0 < r < R \leq +\infty$ . Suppose that a function  $f \in L_{\#, \alpha}^{1, loc}(I_R)$  satisfies condition (1) and  $f = 0$  on  $I_r$ . Then  $f = 0$  on  $I_R$ .*

This statement is an analogue of the well-known John uniqueness theorem for functions with zero spherical averages. Note that similar results in  $\mathbb{R}^n$  and on other multidimensional spaces (see [1, Part 2, Chaps. 1-3], [2, Chaps. 14-17], [3, Part 2, Chap. 2]) require additional conditions for the smoothness of the function  $f$  in the neighborhood of its zero set.

The study was conducted on the topic of the state task (Cipher from the Unified State Accounting Information System R&D: FRRE-2023-0015).

*Исследование проводилось по теме государственного задания (регистрационный номер 1023031100003-2-1.1.1).*

### References

1. Volchkov, V.V. Integral Geometry and Convolution Equations / V.V. Volchkov. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. – 454 p.
2. 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. – 569 p.
3. Volchkov, V.V. Offbeat Integral Geometry on Symmetric Spaces / V.V. Volchkov, Vit.V. Volchkov. – Basel: Birkhäuser, 2013. – 592 p.

## ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

*Дюбо Е.Н.*

ФГБОУ ВО «Луганский государственный педагогический университет»,  
г. Луганск, РФ  
*dyubo\_elena@mail.ru*

Задача решения интегральных уравнений возникает как вспомогательная при решении краевых задач для дифференциальных уравнений с частными производными и как самостоятельная в исследовании работы ядерных реакторов, при решении так называемых обратных задач геофизики, обработке результатов наблюдений, в математической экономике и т.п.

Цель исследования состоит в том, чтобы рассмотреть численные методы решения интегральных уравнений и их реализацию с помощью современных математических пакетов. В качестве объекта исследования были выбраны линейные интегральные уравнения Фредгольма второго рода:

$$y - \lambda Gy = y - \lambda \int_a^b K(x, s)y(s)ds = f(x), \quad (1)$$

где  $y$  - неизвестная функция,  $K(x, s)$  и  $f(x)$  - известные функции,  $x$  и  $s$  - действительные переменные, изменяющиеся в интервале  $(a, b)$ ,  $\lambda$  - числовой множитель.

Воспользуемся какой-либо формулой численного интегрирования, например:

$$J(\psi) = \int_a^b \psi(x)dx \approx S_m(\psi) = \sum_{j=1}^m c_j \psi(x_j^{(m)}), \quad (2)$$

где  $c_j$  - зависят от  $m$ . Тогда получаем равенство

$$J(\psi) = S_m(\psi) + R_m(\psi), \quad (3)$$

где  $R_m(\psi)$  - остаточный член квадратурной формулы (2).

Применяя (3) к уравнению Фредгольма второго рода (1), получим

$$y(x) - \lambda \sum_{j=1}^m c_j K(x, x_j^{(m)})y(x_j^{(m)}) - R_m(\lambda Ky) = f(x) \quad (4)$$

Остаточный член  $R_m(\lambda Ky)$  при вычислении интеграла  $\lambda \int_a^b K(x, s)y(s)ds$  с помощью квадратуры (2) является функцией переменной  $x$ . Полагая, что в (4)  $x = x_i^{(m)}$ ,  $i = \overline{1, m}$ , получим систему уравнений

$$y(x_i^{(m)}) - \lambda \sum_{j=1}^m c_k K(x_i^{(m)}, x_j^{(m)}) y(x_j^{(m)}) = f(x_i^{(m)}) + R_m(\lambda Ky)|_{x_i^{(m)}}.$$

Отбрасывая остаточный член, приходим к системе линейных алгебраических уравнений:

$$y_i - \lambda \sum_{j=1}^m c_j K(x_i^{(m)}, x_j^{(m)}) y_j = f_j, \quad f_i = f(x_i^{(m)}), \quad i = \overline{1, m} \quad (5)$$

В системе (5) величины  $y_1, y_2, \dots, y_m$  являются приближенными значениями решения  $y$  уравнения (1) в узлах  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , где

$$x_1 = a, \quad x_2 = a + h, \quad \dots, \quad x_m = a + (m-1)h, \quad h = \frac{b-a}{n-1} \quad (6)$$

Значения коэффициентов  $c_m$  для формулы Симпсона ( $m=2l+1$ ) составят:

$$c_1 = c_{2l+1} = \frac{h}{3}, \quad c_2 = c_4 = \dots = c_{2l} = \frac{4h}{3}, \quad c_3 = c_5 = \dots = c_{2l-1} = \frac{2h}{3} \quad (7)$$

Воспользовавшись указанным выше алгоритмом, можно написать программу на одном из многочисленных языков программирования для получения численного решения уравнения (1). Но существует множество прикладных математических пакетов, которые позволяют решать математические и инженерные задачи, не углубляясь в особенности конкретного языка программирования. Одной из таких программ является MathCad, которую по праву можно назвать современной, универсальной и массовой математической системой, позволяющей реализовать алгоритмы численных методов. Решение интегрального уравнения Фредгольма в системе MathCad рассмотрим на примере уравнения

$$y(x) - \lambda \int_0^{\pi} s \cos^2 xy(s) ds = \sin x - \frac{\pi}{4} (4 - \pi) \cos^2 x - 0,5.$$

Применяя квадратурную формулу Симпсона и выбирая узлы в точках  $x_k = \frac{\pi k}{16}$ ,  $k = \overline{0, 16}$  сформируем матрицы X и A, которые будут содержать соответственно узловые точки  $x_k$  (6) и коэффициенты квадратурных формул  $c_k$  (7),  $k = \overline{0, 16}$ .

$$\begin{aligned} n &:= 17 \\ k &:= 0, 1..n-1 \\ X_k &:= \frac{\pi \cdot k}{16} \\ h &:= \frac{\pi}{16} \end{aligned}$$

$$A(h) := \left| \begin{array}{l} A_0 \leftarrow \frac{h}{3} \\ i \leftarrow 1 \\ \text{while } i \leq n-1 \\ \left| \begin{array}{l} A_i \leftarrow 4 \cdot \frac{h}{3} \\ A_{i+1} \leftarrow 2 \cdot \frac{h}{3} \\ i \leftarrow i+2 \end{array} \right. \\ A_{n-1} \leftarrow A_0 \\ A \end{array} \right.$$



Сформируем матрицу F, которая будет содержать значения правых частей уравнения, а также матрицу K как двумерный массив размера (17,17), который содержит значения  $K(x_i^{(m)}, x_j^{(m)})$ ,  $0 \leq i, j \leq 16$ , где  $i$  – номер строки, а  $j$  – номер столбца массива

$$f(x) := \sin(x) - \frac{\pi}{4} \cdot (4 - \pi) \cdot (\cos(x))'$$

$$F_k := f(X_k)$$

$$K(X) := \begin{cases} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \text{for } j \in 0..n-1 \\ K_{i,j} \leftarrow X_j \cdot (\cos(X_i))^2 \end{cases}$$

$$K$$

Массив Koeff наполним коэффициентами системы линейных уравнений (5):

$$\text{Koeff}(C, A, K1) := \begin{cases} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \begin{cases} \text{for } j \in 0..n-1 \\ \text{Koeff}_{i,j} \leftarrow -C \cdot A_j + K1_{i,j} \\ \text{Koeff}_{i,i} \leftarrow \text{Koeff}_{i,i} + 1 \end{cases} \end{cases}$$

$$\text{Koeff}$$

Матрица B будет содержать расширенную матрицу системы линейных уравнений (5) для рассматриваемого случая  $B := \text{augment}(\text{Koeff}, F)$ .

Для решения системы линейных уравнений воспользуемся встроенной функцией rref и получим  $C1 := \text{rref}(B)$ .

В результате решения уравнения получим ответ:

$$X1^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	-0.825	-0.612	-0.374	-0.125	0.116	0.33	0.498	0.606	0.643

Существует огромное количество способов реализации численных методов решения интегральных уравнений. Современные языки программирования предоставляют огромные возможности с точки зрения их применимости для решения различных типов задач, но с точки зрения пользователя, который не может и не хочет, углубляясь в изучение конкретного языка программирования, уходить от самого алгоритма решения задачи, наилучшим вариантом будет использование специально предназначенного для этого прикладного программного обеспечения.

### Список литературы

1. Вержбицкий, В. М. Основы численных методов: учебник для вузов / В. М. Вержбицкий. – М. Высш. шк., 2002. – 840 с.: ил
2. Краснов, М.Л. Интегральные уравнения (задачи и примеры с подробными решениями): учебное пособие / М.Л. Краснов, А.И. Киселев, Г.И. Макаренко. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – 192 с.

## КРИТЕРИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ В НЕРАВЕНСТВАХ ДЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

**Заставный В.П.**, д-р физ.-мат. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*zastavn @rambler.ru*

Символом  $C(T)$ ,  $T := [-\pi, \pi]$ , обозначим класс  $2\pi$ -периодических функций  $f: R \rightarrow C$ , которые непрерывны на  $R$ . Пусть  $\varphi$  – положительно определенная на  $R$  функция и  $\mu$  – соответствующая мера Бохнера. Для фиксированных  $\varepsilon \in R$ ,  $\varepsilon \neq 0$ , и  $\mu$ -измеримой вещественнозначной функции  $h: R \rightarrow R$  рассмотрим оператор  $H_\varepsilon$  порождённый функцией  $\varphi$ :

$$H_\varepsilon(f)(t) := \int_R e^{-ih(u)} f(t + \varepsilon u) d\mu(u), \quad t \in R, \quad f \in C(T).$$

Не сложно показать, что

$$\|H_\varepsilon(f)\|_p \leq \varphi(0) \|f\|_p, \quad 1 \leq p \leq \infty, \quad f \in C(T). \quad (1)$$

Если функция  $J$  выпукла вниз и не убывает на  $[0, +\infty)$ , то

$$\int_T J(|H_\varepsilon(f)(t)|) dt \leq \int_T J(\varphi(0)|f(t)|) dt, \quad f \in C(T). \quad (2)$$

Для функции  $h(u) = \tau u$ ,  $\tau \in R$ , операторы  $H_\varepsilon$  рассмотрены в работе автора [1]. Аналогично, как и в [1], доказываются следующие критерии и для произвольной вещественнозначной функции  $h$ .

**Теорема 1.** Пусть  $\varphi \in \Phi(R) \cap C(R)$ ,  $\varphi(0) > 0$ ,  $\varepsilon \in R$ ,  $\varepsilon \neq 0$ , и  $h$  является  $\mu$ -измеримой вещественнозначной функцией на  $R$ . Тогда:

1) При  $p = \infty$  неравенство (1) обращается в равенство для некоторой функции  $f \in C(T) \Leftrightarrow$  для некоторых  $\eta, \delta \in R$  и для  $\mu$ -почти всех  $u \in R$  выполняется равенство  $e^{-ih(u)} f(\eta + \varepsilon u) = e^{i\delta} \|f\|_\infty$ .

2) **i.** При  $p = 1$  неравенство (1) обращается в равенство для некоторой функции  $f \in C(T) \Leftrightarrow$  для любого  $t \in R$  найдётся число  $\delta(t) \in R$  такое, что для  $\mu$ -почти всех  $u \in R$  выполняется равенство  $e^{-ih(u)} f(t + \varepsilon u) = e^{i\delta(t)} |f(t + \varepsilon u)|$ .

**ii.** Если неравенство (1) при  $p = 1$  обращается в равенство для некоторой функции  $f \in C(T)$ , то неравенство (1) при  $p = 1$  обращается в равенство для любой функции вида  $cf(t)g(t)$ , где  $c \in C$ ,  $g \in C(T)$  и  $g(t) \geq 0$ ,  $t \in R$ .

3) Если функция  $J$  не убывает на  $[0, +\infty)$  и строго выпукла вниз в каждой точке интервала  $(0, +\infty)$ , то неравенство (2) (или неравенство (1) при  $1 < p < \infty$ ) обращается в равенство для некоторой функции  $f \in C(T) \Leftrightarrow$  для любого  $t \in R$  и для  $\mu$ -почти всех  $u \in R$  выполняется равенство  $e^{-ih(u)} f(t + \varepsilon u) = c(t)$ , где  $c(t) = H_\varepsilon(f)(t)/\varphi(0) \in C(T)$ .

4) Если функция  $J$  выпукла вниз и строго возрастает на  $[0, +\infty)$ , а неравенство (2) (или неравенство (1) при  $1 < p < \infty$ ) обращается в

равенство для некоторой функции  $f \in C(T)$ , то и неравенство (1) при  $p = 1$  также обращается в равенство для этой функции  $f$ .

Теорема 1 применяется к интерполяционным операторам  $H: C(T) \rightarrow C(T)$  вида

$$H(f)(t) = \sum_{k=0}^{2n-1} \Lambda_k f\left(t - \tau + \frac{k\pi}{n}\right), \quad f \in C(T), \quad (3)$$

где  $n \in \mathbb{N}$ ,  $\tau$  – фиксированное действительное число, а  $\{\Lambda_k\}_{k=0}^{2n-1}$  – фиксированный набор комплексных чисел с условием  $\kappa = |\Lambda_0| + \dots + |\Lambda_{2n-1}| > 0$ . Для удобства считаем, что наборы чисел  $\{\Lambda_k\}_{k=0}^{2n-1}$  и  $\{\varepsilon_k\}_{k=0}^{2n-1}$ , где  $\varepsilon_k \in C$  определяется из условия  $|\varepsilon_k| = 1$ ,  $\Lambda_k = \varepsilon_k |\Lambda_k|$ , продолжены на множество всех целочисленных индексов  $k \in Z$  с периодом  $2n$ , т.е.  $\Lambda_{k+2n} = \Lambda_k$  и  $\varepsilon_{k+2n} = \varepsilon_k$  для всех  $k \in Z$ . Для таких операторов  $H$  справедливы неравенства:

$$\int_T J(|H(f)(t)|) dt \leq \int_T J(\kappa|f(t)|) dt, \quad f \in C(T), \quad (4)$$

$$\|H(f)\|_p \leq \kappa \|f\|_p, \quad 1 \leq p \leq \infty, \quad f \in C(T). \quad (5)$$

Если выполнено условие

$$\exists \varepsilon \in C, |\varepsilon| = 1: \varepsilon \Lambda_k (-1)^k \geq 0, \quad k = 0, \dots, 2n-1, \quad (6)$$

то неравенства (4) и (5) являются точными и экстремальной является, например, любая функция  $f \in C(T)$ , ряд Фурье которой имеет вид

$$f(t) \sim \sum_{m \in Z} d_m e^{in(2m+1)t}. \quad (7)$$

В следующей теореме 2 приведено достаточное условие, когда неравенства (4) и (5) при  $1 < p < \infty$  являются точными и множество экстремальных функций в этих неравенствах совпадает со всеми функциями  $f \in C(T)$ , ряд Фурье которых имеет вид (7). В частном случае, когда  $h(u) = tu$ ,  $t \in R$ , эта теорема доказана в [1] и без эквивалентности двух условий.

**Теорема 2.** Пусть оператор  $H: C(T) \rightarrow C(T)$  задан по формуле (3), где  $\tau$  – фиксированное действительное число, а  $\{\Lambda_k\}_{k=0}^{2n-1}$  – фиксированный набор комплексных чисел с условием  $\kappa = |\Lambda_0| + \dots + |\Lambda_{2n-1}| > 0$ , а функция  $J$  не убывает на  $[0, +\infty)$  и строго выпукла вниз в каждой точке интервала  $(0, +\infty)$ . Пусть выполняется условие

$$\exists s \in Z: \overline{\Lambda_s} \Lambda_{s+1} < 0.$$

Тогда следующие два условия эквивалентны:

- (1) для одного из неравенств (4) или (5) при  $1 < p < \infty$  существует ненулевая экстремальная функция;
- (2) выполняется условие (6).

Если выполняется одно из этих двух условий, то неравенства (4) и (5) при  $1 < p < \infty$  являются точными и множество экстремальных функций в этих неравенствах совпадает со всеми функциями  $f \in C(T)$ , ряд Фурье которых имеет вид (7).

Исследование проводилось по теме государственного задания (регистрационный номер 1023031100003-2-1.1.1).

#### Список литературы

1. Zastavnyi V.P. Positive definite functions and sharp inequalities for periodic functions / V.P. Zastavnyi // Ural Math. J. – 2017. – V. 3, № 2. – P. 82–99.

УДК 517.5, 51.8, 519.66

### О МЕТОДЕ ПОСТРОЕНИЯ МАГИЧЕСКИХ КВАДРАТОВ ПРИ ПОМОЩИ ЛАТИНСКИХ КВАДРАТОВ, ИМЕЮЩИХ ОРТОГОНАЛЬНЫЕ ТРАНСВЕРСАЛИ

*Иванов А.Ю.*, канд. физ.-мат. наук,

*Мельник А.-В.В.*, канд. техн. наук.

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*o.ivanov@donnu.ru*

Классическим магическим квадратом порядка  $n$  называют матрицу  $n \times n$ , заполненную числами от 1 до  $n^2$  так, что их суммы в каждой строке, столбце, а также по главной и побочной диагоналям равны между собой [1].

Матрицы, обладающие данными свойствами, интересовали людей с древнейших времен — известны артефакты, связанные с изображением магических квадратов, датируемые третьим тысячелетием до н.э. [2]. Неослабевающий интерес к магическим квадратам привел к появлению математической теории магических квадратов. Подробно ознакомится с историей формирования данного раздела математики можно, например, в труде К.Оллереншоу и Г.Бонди [2].

К основным направлениям изучения магических квадратов относятся следующие два: вычисление количества различных магических квадратов заданного порядка; построение методов конструирования матриц данного типа.

Ниже приведены результаты, устанавливающие количество магических квадратов  $MSq(n)$  в зависимости от порядка матрицы  $n$ :

$n$	$MSq(n)$	Автор и год
3	1	
4	880	Б.Френикл де Бюсси 1693г. [3]
5	275 305 224	Р.Шроппель 1973г. [4]
6	$1,775399 \cdot 10^{19} \pm 0,000042 \cdot 10^{19}$	К.Пинн и Ц.Вейцерковски 1998г.[5]

При вычислении значения  $MSq(n)$  для  $n \leq 5$  применялись методы модифицированного полного перебора (от ручного для  $n=4$ , до использующего вычислительные средства для  $n=5$ ), однако для больших порядков подобные методы не могли привести к результату ввиду значительного объема вычислений. Данные соображения привели к поиску новых подходов к установлению значения  $MSq(n)$ . Таким образом, для оценки количества магических квадратов при  $n \geq 6$  К.Пинн и Ц.Вейцерковски разрабатывают статистический метод, основанный на методе Монте Карло. На данный момент удалось установить приближительные значения  $MSq(n)$  вплоть до двадцатого порядка.

С исследованиями вопросов, связанных с построением алгоритмов конструирования магических квадратов, можно подробно познакомиться в монографиях М.М. Постникова «Магические квадраты» [1] и Ю.В.Чебракова «Магические квадраты. Теория чисел, алгебра, комбинаторный анализ» [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 данных тезисов удалось распространить свой алгоритм конструирования магических квадратов, введенный и обоснованный для квадратов нечетных порядков в [7], на случай таких порядков  $n$ , для которых существует пара ортогональных латинских квадратов, имеющих ортогональные (или почти ортогональные для случая нечетного  $n$ ) трансверсали, удовлетворяющие некоторым дополнительным условиям. Важно отметить, что данный алгоритм позволяет конструировать значительное количество различных магических квадратов не только нечетных, но и некоторых четных порядков. Открытым вопросом остается множество порядков  $n$ , для которых данный алгоритм применим.

*Исследование проводилось по теме государственного задания (регистрационный номер 1023031100003-2-1.1.1).*

#### **Список литературы**

1. Постников М. М. Магические квадраты / М. М. Постников. – Москва: издательство "Наука", математическая библиотечка, 1964 – 84 с.
2. 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 – pp. 443–532
3. B.F. de Bessey. Dse quarrez ou tables magiques/ Bernard Frenicle de Bessye.- Imp.Royale, 1693
4. Gardner M. Mathematical Games/ M. Gardner// Scientific American – January 1976 – V. 234 – P. 118–122
5. Pinn K.Number of magic squares fromparallel 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. Новый метод конструирования магических квадратов при помощи ортогональных трансверсалей / А.Ю. Иванов, А.-В.В.Мельник // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. – 2023. – № 2. – С. 58–65.

УДК 517.9

## АПРИОРНЫЕ ОЦЕНКИ ДЛЯ СИСТЕМ МИНИМАЛЬНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ В ШКАЛЕ АНИЗОТРОПНЫХ ПРОСТРАНСТВ СОБОЛЕВА

*Лиманский Д.В.*, канд. физ.-мат. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»,  
ФГБНУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк, РФ  
*d.limanskiy@donnu.ru*

Пусть  $\Omega$  — область в  $\mathbb{R}^n$ ,  $p \in [1, \infty]$ ,  $l = (l_1, \dots, l_n) \in \mathbb{N}^n$ ,  $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n) \in \mathbb{Z}_+^n$ ,  $|\alpha: l| = \frac{\alpha_1}{l_1} + \dots + \frac{\alpha_n}{l_n}$ . В пространстве  $L^p(\Omega)$  рассмотрим систему дифференциальных операторов вида

$$P_j(x, D) = \sum_{|\alpha: l| \leq 1} a_{j\alpha}(x) D^\alpha, \quad j \in \{1, \dots, N\}. \quad (1)$$

Здесь  $D_j = -i \frac{\partial}{\partial x^j}$ ,  $j \in \{1, \dots, n\}$ ;  $D = (D_1, \dots, D_n)$ ,  $D^\alpha = D_1^{\alpha_1} \dots D_n^{\alpha_n}$ .

Напомним (см. [1]), что систему операторов  $\{P_j(x, D)\}_1^N$  вида (1) называют -квазиэллиптической, если

$$(P_1^l(x, \xi), \dots, P_N^l(x, \xi)) \neq (0, \dots, 0) \quad \text{для всех } (x, \xi) \in \Omega \times (\mathbb{R}^n \setminus \{0\}),$$

где  $P_j(x, \xi) = \sum_{|\alpha: l|=1} a_{j\alpha}(x) \xi^\alpha$  —  $l$ -главные символы операторов  $P_j(x, D)$ .

Известно (см. [2]), что -квазиэллиптическая система  $\{P_j(x, D)\}_1^N$  вида (1) при некоторых ограничениях на коэффициенты  $a_{j\alpha}(\cdot)$  и область  $\Omega$  является слабо коэрцитивной в анизотропном пространстве Соболева  $W_{0,p}^l(\Omega)$  при  $p \in [1, \infty]$ , т. е. удовлетворяет априорной оценке

$$\sum_{|\alpha: l| < 1} \|D^\alpha f\|_{L^p(\Omega)} \leq C_1 \sum_{j=1}^N \|P_j(x, D)f\|_{L^p(\Omega)} + C_2 \|f\|_{L^p(\Omega)} \quad (2)$$

с константами  $C_1, C_2 > 0$ , не зависящими от  $f \in C_0^\infty(\Omega)$ . Более того, при  $p \in (1, \infty)$  верна более сильная оценка (2) с заменой  $|\alpha: l| < 1$  на  $|\alpha: l| \leq 1$ .

В работе описаны слабо коэрцитивные системы в анизотропном пространстве Соболева  $W_{0,p}^l(\Omega)$  при  $p \in [1, \infty]$ , и -квазиэллиптическая система  $\{P_j(x, D)\}_1^N$  с переменными коэффициентами будет охарактеризована при всех  $p \in [1, \infty]$  при помощи оценок вида (2). При этом дополнен результат, полученный в [2] в изотропном случае, т. е. при  $l_1 = \dots = l_n = l$ .

Исследование проводилось по теме государственного задания (регистрационный номер 1023031100003-2-1.1.1).

### Список литературы

1. Бесов О.В. Интегральные представления функций и теоремы вложения / О.В. Бесов, В.П. Ильин, С.М. Никольский. – М.: Наука, 1996. – 480 с.
2. Лиманский Д.В. Эллиптические и слабо коэрцитивные системы операторов в пространствах Соболева / Д.В. Лиманский, М.М. Маламуд // Матем. сборник. – 2008. – Т. 199. – № 11. – С. 75–112.

УДК 517.5+519.213

## ОБ ОДНОЙ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ОПРЕДЕЛЁННЫХ ФУНКЦИЙ С НОСИТЕЛЕМ В ШАРЕ

*Манов А.Д.*, канд. физ.-мат. наук  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*manov.ad@ro.ru*

**Введение.** Фиксируем некоторые обозначения  $|\cdot|$  – евклидова норма в  $\mathbb{R}^n$ ,  $\mathbb{B}_r := \{x \in \mathbb{R}^n: |x| < r\}$  – открытый шар радиуса  $r > 0$  с центром в нуле,  $\overline{\mathbb{B}_r}$  – его замыкание,  $L_\infty^{loc}(\mathbb{R}^n)$  – пространство локально ограниченных п.в. на  $\mathbb{R}^n$  функций.

Комплекснозначная функция  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{C}$  называется положительно определённой на  $\mathbb{R}^n$  ( $f \in \Phi(\mathbb{R}^n)$ ), если для любого  $m \in \mathbb{N}$ , и для любых точек  $\{x_i\}_{i=1}^m \subset \mathbb{R}^n$ , а также для любого набора комплексных чисел  $\{c_i\}_{i=1}^m \subset \mathbb{C}$  выполнено неравенство

$$\sum_{i,j=1}^m c_i \bar{c}_j f(x_i - x_j) \geq 0. \quad (1)$$

Пусть  $r > 0$ . Символом  $\mathfrak{F}_r(\mathbb{R}^n)$  обозначим множество функций  $\varphi \in \Phi(\mathbb{R}^n) \cap C(\mathbb{R}^n)$  таких, что  $\varphi(0) = 1$  и  $\text{supp } \varphi \subset \overline{\mathbb{B}_r}$ . Рассмотрим следующую экстремальную задачу для положительно определённых функций  $\varphi \in \mathfrak{F}_r(\mathbb{R}^n)$ .

**Задача 1.** Пусть  $r > 0$  и функция  $\rho \in L_\infty^{loc}(\mathbb{R}^n)$  является радиальной и вещественнозначной. Требуется найти следующую величину:

$$M(n, \rho, r) := \sup \left\{ \left| \int_{\mathbb{R}^n} \varphi(x) \rho(x) dx \right| : \varphi \in \mathfrak{F}_r(\mathbb{R}^n) \right\}.$$

Если  $\rho(x) \equiv 1$ , то величина  $M(n, \rho, r)$  была найдена Зигелем [1] в 1935 году и независимо Боасом и Кацом (см. [2, Theorem 5]) в 1945 году при  $n = 1$ . В этом случае,

$$M(n, \rho, r) = \text{vol}(\mathbb{B}_{r/2}) = \frac{\pi^{n/2} r^n}{2^n \Gamma(n/2 + 1)},$$

где  $\text{vol}(\cdot)$  – мера Лебега в  $\mathbb{R}^n$ . При  $n = 1$  и более слабых условиях на функцию  $\rho$  аналог задачи 1 был рассмотрен автором в [3].

Основным результатом работы является следующая теорема, которая даёт решение задачи 1 при  $n \neq 2$ .

**Теорема 1.** Пусть  $n \neq 2$ ,  $r > 0$  и функция  $\rho \in L_{\infty}^{loc}(\mathbb{R}^n)$  является радиальной и вещественнозначной. Определим оператор  $A_{\rho}: L_2(\mathbb{B}_{r/2}) \rightarrow L_2(\mathbb{B}_{r/2})$  следующим образом:

$$(A_{\rho}u)(t) := \int_{\mathbb{B}_{r/2}} \rho(t-x)u(x)dx, \quad u(x) \in L_2(\mathbb{B}_{r/2}).$$

Тогда  $A_{\rho}$  – компактный самосопряжённый оператор в  $L_2(\mathbb{B}_{r/2})$  и справедливо равенство

$$M(n, \rho, r) = \|A_{\rho}\|,$$

где  $\|A_{\rho}\|$  – норма оператора  $A_{\rho}$  в  $L_2(\mathbb{B}_{r/2})$ .

Из теоремы 1 следует, что решение задачи 1 сводится к нахождению наибольшего по модулю собственного значения оператора  $A_{\rho}$ . Отметим также, что теорема 1 является аналогом теоремы Сасса для неотрицательных тригонометрических многочленов (см. [4, Satz IV]).

Если  $\rho(x)$  – многочлен, то задача 1 связана с задачей о точечных оценках производных целых функций экспоненциального сферического типа  $\leq r$ . Напомним, что целая функция  $f: \mathbb{C}^n \rightarrow \mathbb{C}$  называется экспоненциальной сферического типа  $\leq r$ , если для любого  $\varepsilon > 0$  найдётся константа  $A_{\varepsilon} > 0$  такая, что

$$|f(z)| \leq A_{\varepsilon} e^{(r+\varepsilon)|z|}, \quad z \in \mathbb{C}^n, \quad \text{где } |z| = \left( \sum_{k=1}^n |z_k|^2 \right)^{1/2}.$$

Символом  $W_{p,r}(\mathbb{R}^n)$  обозначим множество целых функций экспоненциального сферического типа  $\leq r$  таких, что их сужение на  $\mathbb{R}^n$  принадлежит  $L_p(\mathbb{R}^n)$ ,  $p \geq 1$ , а символом  $W_{p,r}^+(\mathbb{R}^n)$  – подмножество неотрицательных на  $\mathbb{R}^n$  функций из  $W_{p,r}(\mathbb{R}^n)$ . Нами доказана следующая теорема.



**Теорема 2.** Пусть  $n, m \in \mathbb{N}$ ,  $r > 0$ ,  $\Delta$  – оператор Лапласа,  $L$  – линейный дифференциальный оператор вида

$$L := \sum_{k=0}^m a_k \Delta^k, \text{ где } a_k \in \mathbb{R} \text{ и } \rho(x) := \sum_{k=0}^m (-1)^k a_k |x|^{2k}, \quad x \in \mathbb{R}^n.$$

Тогда для любой функции  $f \in W_{p,r}^+(\mathbb{R}^n)$  имеет место следующее точное неравенство:

$$\|Lf\|_\infty \leq \frac{M(n, \rho, r)}{(2\pi)^n} \|f\|_1.$$

Кроме того, нами найдены явные решения задачи 1, когда  $\rho(x) = |x|^2$ ,  $n \neq 2$ , а также  $\rho(x) = x^{2m}$ ,  $n = 1$ ,  $m \in \mathbb{N}$ .

**Пример 1.** Пусть  $n \neq 2$ ,  $r > 0$  и  $\rho(x) = |x|^2$ ,  $x \in \mathbb{R}^n$ . Тогда

$$M(n, \rho, r) = \frac{r^{n+2} \pi^{n/2}}{2^{n+1} \Gamma(n/2)} \left( \frac{1}{n+2} + \frac{\sqrt{n(n+4)}}{n(n+4)} \right), \quad n \neq 2, \quad r > 0.$$

**Пример 2.** Пусть  $n = 1$ ,  $r > 0$  и  $\rho(x) = x^{2m}$ , где  $m \in \mathbb{N}$ . Тогда

$$M(1, \rho, r) = \left(\frac{r}{2}\right)^{2m+1} \lambda_{max},$$

где  $\lambda_{max}$  – наибольшее собственное значение матрицы

$$A := \left( \frac{(-1)^{i+1} C_{2m}^{i-1} (1 + (-1)^{i-j})}{2m + i - j + 1} \right)_{i,j=1}^{2m+1}.$$

*Исследование проводилось по теме государственного задания (регистрационный номер 1023031100003-2-1.1.1).*

#### Список литературы

1. Siegel C. L. Über Gitterpunkte in konvexen Körpern und damit zusammenhängendes Extremal problem / C. L. Siegel // Acta Math. – 1935. – Vol. 65, № 1. – P. 307 – 323.
2. Boas R.P., Jr. Inequalities for Fourier transforms of positive functions / R.P., Jr Boas, M. Kac // Duke Math. J. – 1945. – Vol. 12, № 1. – P. 189 – 206.
3. Манов А. Д. Об одной экстремальной задаче для положительно определённых функций / А. Д. Манов // Чебышевский сборник. – 2021. – Т. 22, № 5. – С. 161 – 171.
4. Szász O. Über harmonische Funktionen und L-Formen. / O. Szász // Math. Zeitschr. – 1918. – V. 1. – P. 149 – 162.

## О ФУНКЦИЯХ С НУЛЕВЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ ПО РАВНОБЕДРЕННЫМ ТРЕУГОЛЬНИКАМ

*Машаров П.А.*, канд. физ.-мат. наук, *Власенко И.С.*  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*p.masharov@donnu.ru*

**Введение и постановка задачи.** Пусть в действительном евклидовом пространстве  $\mathbb{R}^n$  размерности  $n \geq 2$  со стандартной евклидовой нормой  $|\cdot|$  заданы открытое множество  $D$  и компактное множество  $K$ . Традиционно, через  $M(n)$  обозначим группу движений  $\mathbb{R}^n$ ,  $\text{Mot}(K, D) = \{\lambda \in M(n) : \lambda K \subset D\}$ . Компактное множество  $K \subset \mathbb{R}^n$  называется множеством Помпейю в  $D$ , если локально суммируемая функция  $f: D \rightarrow \mathbb{C}$ , удовлетворяющая условиям

$$\int_{\lambda K} f(x) dx = 0$$

для всех  $\lambda \in \text{Mot}(K, D)$ , равна нулю почти всюду в  $D$ . Совокупность всех множеств Помпейю в  $D$  обозначим  $\mathcal{P}(D)$ . Классическая проблема Помпейю состоит в описании  $\mathcal{P}(\mathbb{R}^n)$ . Она была сформулирована румынским математиком Помпейю в прошлом веке, и в настоящее время хорошо изучена (см. обзор [1] с обширной библиографией). Полностью эта проблема не решена. В [2] было получено, что если  $K \in \mathcal{P}(\mathbb{R}^n)$ , то  $K$  является множеством Помпейю в шаре  $\mathbb{B}_R = \{x \in \mathbb{R}^n : |x| < R\}$  радиуса  $R \geq 2r^*(K)$ , где  $r^*(K) = \inf\{R > 0 : \lambda K \subset \mathbb{B}_R, \lambda \in M(n)\}$ . В связи с этим, в [2] поставлена

**Проблема 1.** Для данного компакта  $K \subset \mathbb{R}^n$  найти значение  $\mathcal{R}(K) = \inf\{R > 0 : K \in \mathcal{P}(\mathbb{B}_R)\}$ .

Указанную величину естественно называть экстремальным радиусом Помпейю для  $K$ .

Решение проблемы 1 находит применения в различных областях математики: теории аппроксимаций, комплексном анализе, теории отображений, сохраняющих меру. Методы, используемые для решения проблемы 1, применяются для изучения функций с нулевыми интегралами по множествам положительной коразмерности [3], по множествам, конгруэнтным любому из данного набора и содержащимся в некотором шаре [4]. Достаточно полное описание множеств  $K$ , для которых найдены точные значения или получены оценки величин  $\mathcal{R}(K)$ , содержится в [1,5].

В данной работе проблема 1 решена для равнобедренного треугольника  $T = \Delta ABC$  в  $\mathbb{R}^2$  с боковыми сторонами  $AB = AC = 1$  и углом между ними  $\angle BAC = \pi/6$ . Основными результатами работы являются

**Теорема 1.** *Имеет место равенство*

$$\mathcal{R}(T) = \frac{\sqrt{6}}{4}.$$

**Теорема 2.** Для фиксированного  $p \in [1; +\infty)$ ,  $R > \sqrt{6}/4$  любую функцию  $f \in L_p(\mathbb{B}_R)$  можно аппроксимировать с любой точностью в  $L_p(\mathbb{B}_R)$  линейными комбинациями индикаторов  $\lambda T$ ,  $\lambda \in \text{Mot}(T, \mathbb{B}_R)$ .

**Теорема 3.** Пусть  $f \in C(\mathbb{B}_R)$ , и выполнено условие

$$\int_{\partial(\lambda T)} f(z) dz = 0 \quad \forall \lambda \in \text{Mot}(T, \mathbb{B}_R).$$

Тогда имеют место следующие утверждения:

- 1) если  $R > \sqrt{6}/4$ , то  $f$  голоморфна в  $\mathbb{B}_R$ ;
- 2) если  $\left(2 \cos\left(\frac{\pi}{12}\right)\right)^{-1} < R < \frac{\sqrt{6}}{4}$ , то существуют не голоморфные, бесконечно дифференцируемые функции с данным условием.

Для доказательства теоремы 1 были подобраны дифференциальные операторы с необходимыми свойствами, изучены размещения рассматриваемого треугольника внутри круга, найдены экстремальные расстояния от центра круга до вершин и сторон треугольника. Решение системы неравенств с найденными величинами позволило оценить снизу экстремальный радиус Помпейю. Для оценки сверху искомого радиуса был построен пример ненулевой функции с нулевыми интегралами.

**Выводы.** В работе получено явное значение величины  $\mathcal{R}(T) = \frac{\sqrt{6}}{4} \approx 0,0612$ . Ранее данная величина была получена в неявном виде, а известная явная оценка сверху имела вид  $\mathcal{R}(T) \leq 1/\cos(\pi/12) \approx 1,035$ .

*Исследование проводилось по теме государственного задания (регистрационный номер 1023031100003-2-1.1.1).*

### Список литературы

1. Волчков, В.В. Элементы нетрадиционной интегральной геометрии / В.В. Волчков; Вит.В. Волчков // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. – 2021. – №. 2. – С. 9 – 52.
2. Volchkov, V.V. Integral Geometry and Convolution Equations / V.V. Volchkov. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. – 454 p. – ISBN 978-94-010-0023-9.
3. Машаров, П.А. О функциях с нулевыми поверхностными интегралами по равносторонним треугольникам / П.А. Машаров // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. – 2021. – №. 2. – С. 110 – 120.
4. Машаров, П.А. Радиус Помпейю для семейства из сектора и полукруга / П.А. Машаров // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. – 2022. – №. 2. – С. 77 – 88.
5. 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. – DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-533-8>.

## ОТСУТСТВИЕ НЕОТРИЦАТЕЛЬНОСТИ НЕКОТОРЫХ МАТРИЦ ШЕНБЕРГА

*Оридорога Л.Л.*, канд. физ.-мат. наук,

*Агибалова А.В.*, канд. физ.-мат. наук

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*l.oridoroga@donnu.ru, g.agibalova@donnu.ru*

**Введение.** Положительно определённые функции имеют долгую историю. Их изучением занимались многие классики, такие как Каратеодори, Херглотц, Бернштейн. Важным классом положительно определённых функций является класс радиально положительно определённых функций, которые и рассматриваются в данной работе. Эти функции являются важной частью различных областей гармонического анализа, имеют важные приложения в теории вероятностей, теории аппроксимации, где они встречаются как характеристические функции преобразований Фурье сферически симметричных вероятностных распределений. Отметим некоторые недавние публикации (см. [1] – [3] и цитируемую в них литературу), посвящённые радиально положительно определённым функциям и их применению в спектральной теории операторов.

**Определение 1.** Функция  $F: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$  называется положительно определённой, если она непрерывна в нуле и для каждого набора точек  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\} \subset \mathbb{R}^n$  матрица

$$\left( F(x_j - x_k) \right)_{j,k=1}^m$$

неотрицательна.

**Определение 2.** Функция  $f: [0, +\infty) \rightarrow \mathbb{R}$  называется радиально положительно определённой класса  $\Phi_n$ , если она непрерывна в нуле и для каждого набора точек  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\} \subset \mathbb{R}^n$  матрица

$$\left( f(\|x_j - x_k\|_n) \right)_{j,k=1}^m$$

(называемая матрицей Шенберга, порождённой множеством  $X$  и функцией  $f$ ) неотрицательна. Здесь  $\|\cdot\|_n$  обозначает евклидову норму в  $\mathbb{R}^n$ .

Другими словами, функция  $f: [0, +\infty) \rightarrow \mathbb{R}$  радиально положительно определённая класса  $\Phi_n$ , если  $F(x) = f(\|x\|_n)$ , где  $x \in \mathbb{R}^n$ , положительно определена.

Известно (см. [4], [5]) следующее описание функций класса  $\Phi_n$ .

**Теорема 1.** Функция  $f \in \Phi_n$  в том и только том случае, если она допускает представление

$$f(t) = \int_0^\infty \Omega_n(st) d\sigma(s), \quad (1)$$

где  $\sigma(t)$  — неубывающая ограниченная функция, заданная на множестве  $[0, +\infty)$ , а

$$\begin{aligned} \Omega_n(z) &= \Gamma\left(\frac{n}{2}\right) \cdot \left(\frac{2}{z}\right)^{\frac{n-2}{2}} \cdot J_{\frac{n-2}{2}}(z) = \\ &= 1 - \frac{z^2}{2n} + \frac{z^4}{2 \cdot 4 \cdot n \cdot (n+2)} - \frac{z^6}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot n \cdot (n+2) \cdot (n+4)} \pm \dots \end{aligned} \quad (2)$$

где  $J_q(z)$  — функция Бесселя первого рода порядка  $q$ .

**Основные результаты.** Очевидно, что  $\Phi_{n+1} \subset \Phi_n$ . В то же время известно, что обратное включение неверно.

Цель данной работы — построение множества точек в пространстве  $\mathbb{R}^{n+1}$ , для которого матрица Шенберга некоторой функции класса  $\Phi_n$  не является неотрицательной, что напрямую доказывает несовпадение классов  $\Phi_n$  и  $\Phi_{n+1}$ .

**Лемма 1.** Пусть  $m \times m$ -матрица  $A$  имеет вид

$$A = \begin{pmatrix} \alpha & \beta & \dots & \beta & \beta \\ \beta & \alpha & \dots & \beta & \beta \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \beta & \beta & \dots & \alpha & \beta \\ \beta & \beta & \dots & \beta & \alpha \end{pmatrix} \quad (3)$$

(т. е. все элементы, стоящие на главной диагонали, равны  $\alpha$ , а все остальные равны  $\beta$ ). Тогда её собственные числа равны  $\alpha - \beta$  и  $\alpha + (m - 1)\beta$ .

**Следствие 1.** Матрица  $A$  вида (3) неотрицательна в том и только том случае, если

$$-\frac{\alpha}{m-1} \leq \beta \leq \alpha.$$

**Теорема 2.** Пусть  $n \geq 3$ ,  $f \in \Phi_n$ . и  $f \neq \text{const}$ . Пусть также  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{n+2}\}$  — множество вершин правильного симплекса со стороной  $l$  в пространстве  $\mathbb{R}^{n+1}$ . Тогда матрица Шенберга

$$S_X(f) = \left( f\left(\|x_j - x_k\|_{n+1}\right) \right)_{j,k=1}^{n+2}$$

положительна.

Для построения примера набора точек в  $\mathbb{R}^{n+1}$ , для которого матрица Шенберга для функции  $\Omega_n$  не является неотрицательной, потребуется следующая

**Теорема 3.** Пусть  $m \times m$ -матрица  $B$  имеет вид

$$B = \begin{pmatrix} \alpha & \beta & \dots & \beta & \beta & \gamma \\ \beta & \alpha & \dots & \beta & \beta & \gamma \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta & \beta & \dots & \alpha & \beta & \gamma \\ \beta & \beta & \dots & \beta & \alpha & \gamma \\ \gamma & \gamma & \dots & \gamma & \gamma & \alpha \end{pmatrix} \quad (4)$$

Тогда  $\det B = (\alpha - \beta)^{m-2} \cdot (\alpha^2 + (m-2)\alpha\beta - (m-1)\beta^2)$ .

С помощью полученных выше результатов доказана следующая

**Теорема 4.** Пусть функция  $f$  вблизи нуля имеет вид

$$f(t) = 1 + c_1 t^2 + c_2 t^4 + o(t^4), \quad (5)$$

где

$$c_2 < \frac{n+1}{2n+6} c_1^2.$$

И пусть во множестве  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{n+3}\} \subset \mathbb{R}^{n+1}$  точки  $x_1, x_2, \dots, x_{n+2}$  — вершины правильного симплекса со стороной  $\varepsilon$ , а точка  $x_{n+3}$  — центр этого симплекса.

Тогда при достаточно малом  $\varepsilon$  матрица Шенберга  $S_X(f)$ , порождённая функцией  $f$  и множеством  $X$ , не является неотрицательной. И, следовательно, такая функция не принадлежит классу  $\Phi_{n+1}$ .

Объединяя Теорему 4 с Теоремой 5.1 из [1], получаем

**Следствие 2.** Функция вида (5) имеет бесконечное число отрицательных квадратов.

*Исследование проводилось по теме государственного задания (регистрационный номер 1023031100003-2-1.1.1).*

#### Список литературы

1. Golinskii L. Schoenberg Matrices of Radial Positive Definite Functions and Riesz Sequences of Translates in  $L^2(\mathbb{R}^n)$  / L. Golinskii, M. Malamud, L. Oridoroga // Journal of Fourier Analysis and Applications. – 2015. – V. 21, № 5. – P. 915–960.
2. Golinskii L. Radial Positive Definite Functions and Schoenberg Matrices with Negative Eigenvalues / L. Golinskii, M. Malamud, L. Oridoroga // Transactions of the American Mathematical Society. – 2018. – V. 370, № 1. – P. 1–25. <http://dx.doi.org/10.1090/tran/6876>
3. Goloshchapova N. Radial positive definite functions and spectral theory of the Schrödinger operators with point interactions / N. Goloshchapova, M. Malamud, V. Zastavnyi // Math. Nachr. – 2012. – V. 285, № 14–15. – P. 1839 – 1859.
4. Schoenberg I. Metric spaces and positive definite functions / I. Schoenberg // Trans. Am. Math. Soc. – 1938. – V. 44. – P. 522–536.
5. Schoenberg I. Metric spaces and completely monotone functions / I. Schoenberg // Ann. Math. – 1938. – V. 39. – P. 811–841.

## О РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ОБОБЩЕННЫХ ФУНКЦИЙ

*Павлов А.Л.*, канд. физ.-мат. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*a.pavlov@donnu.ru*

**Введение.** Многие задачи анализа и его применений приводят к необходимости продолжения обобщенной функции заданной в области на более широкую область. Один из подходов в решении некоторых таких задач основан на построении регуляризации обобщенной функции [1].

**Цель** доклада – представить результаты исследования проблемы построения регуляризации обобщенных функций некоторого класса.

Пусть  $N$  – относительно замкнутое подмножество области  $\Omega \subset \mathbf{R}^n$ , а  $E'(\Omega)$  – некоторое пространство обобщенных функций над основным пространством  $E(\Omega) \supset C_0^\infty(\Omega)$ . Под регуляризацией обобщенной  $f \in E'(\Omega \setminus N)$  будем понимать ее продолжение до обобщенной функции  $\tilde{f} \in E'(\Omega)$ . Следовательно, для любой функции  $\varphi \in C_0^\infty(\Omega \setminus N)$  справедливо равенство  $(f, \varphi) = (\tilde{f}, \varphi)$ .

В общем случае проблема регуляризации имеет отрицательное решение. Ее решение зависит от выбора пространства обобщенных функций  $E'(\Omega)$  и поведения обобщенной функции в окрестности множества  $N$ . Обобщенные функции, имеющие, грубо говоря, степенные сингулярности, допускают регуляризацию в достаточно широких пространствах обобщенных функций.

В работах [2] – [3] приведены достаточные условия для построения регуляризации обобщенной функции вида  $a(\sigma)f$ , где  $f$  – обобщенная функция, а  $a(\sigma)$  – бесконечно дифференцируемая функция вне замкнутого множества  $N$ , имеющая степенные особенности производных на  $N$ .

В статье [2] это сделано для пространства медленно растущих обобщенных функций и его подпространств, а в [3] – для пространства  $D'(\Omega)$ .

В [4] эти результаты обобщены на случай, когда и обобщенная функция  $f$ , и функция  $a$  зависят от комплексного параметра  $\lambda$ , а именно рассматривается семейство обобщенных функций вида  $a(\sigma, \lambda)f(\lambda)$ , где  $f(\lambda)$  – обобщенная функция, голоморфно зависящая от  $\lambda \in G \subset \mathbf{C}$ ,  $a(\sigma, \lambda)$  – бесконечно дифференцируемая функция по переменной  $\sigma$  вне замкнутого множества  $N$ , имеющая степенные особенности производных на  $N$  и голоморфная по переменной  $\lambda$ .

**Основная часть.** Ниже приведены сведения о тех функциональных пространствах, которые будут использованы в описании результатов.

Пространство медленно растущих обобщенных функций  $S'$  является пространством линейных непрерывных функционалов над основным

пространством  $S(\mathbf{R}^n)$ , состоящим из бесконечно дифференцируемых функций  $\varphi(x)$ , для которых конечны полунормы

$$\|\varphi(x)\|_{l,k} = \sup_{x \in \mathbf{R}^n} \left[ (1+|x|)^k \sum_{|\alpha| \leq k} |D_x^\alpha \varphi(x)| \right], \quad l, k = 0, 1, 2, \dots$$

Рассмотрим семейство подпространств  $S'$ , зависящих от параметров  $s$  и  $l$ :

$$H_l^s = \left\{ f \in S' : \|f\|_l^s \equiv \left[ \int (1+|\sigma|^2)^s |\mathcal{F}_x((1+|x^2|)^{1/2} f)|^2 d\sigma \right]^{1/2} < +\infty \right\},$$

где  $\mathcal{F}_x g$  – преобразование Фурье обобщенной функции  $g \in S'$ .

Для произвольного открытого множества  $\Omega \subset \mathbf{R}^n$  через  $D(\Omega)$  обозначают множество бесконечно дифференцируемых функций с компактным носителем в  $\Omega$ , а через  $D'(\Omega)$  пространство, состоящее из линейных форм на  $D(\Omega)$  таких, что для всякого компакта  $K \subset \Omega$  существуют постоянные  $C(K)$ ,  $j(K)$  и выполняется неравенство

$$|(f, \varphi)| \leq C(K) \sum_{|\alpha| \leq j(K)} \sup_{\sigma \in K} |\partial^\alpha \varphi(\sigma)|, \quad \varphi \in D(\Omega), \quad \text{supp } \varphi \subset K. \quad (1)$$

Выражения в правой части неравенства (1) определяют полунормы на подпространстве  $D(\Omega)$ , состоящем из функций, носители которых принадлежат компакту  $K \subset \Omega$ .

Обобщенная функция  $f \in D'(\Omega)$  имеет порядок не выше  $p$ , если в (1) можно использовать одно и то же целое число  $j = p$  для всех компактов  $K \subset \Omega$ . Множество обобщенных функций, имеющих порядок не выше  $p$  обозначается через  $D'^p(\Omega)$ . Через  $D'_F(\Omega)$  обозначают объединение пространств  $D'^p(\Omega)$ ,  $p \in \mathbf{Z}_+$  и называют его пространством обобщенных функций конечного порядка.

Рассматривается задача построения регуляризации обобщенной функции  $a(\sigma)f$ , где  $f$  – обобщенная функция,  $a(\sigma) \in C^\infty(\mathbf{R}^n \setminus N)$ ,  $N$  – замкнутое множество и справедливы неравенства

$$|\partial^\alpha a(\sigma)| \leq c_\alpha (1+|\sigma|)^{\mu(\alpha)} [d(\sigma, N)]^{\nu(\alpha)}, \quad \alpha \in \mathbf{Z}_+^n, \quad \sigma \in \mathbf{R}^n \setminus N. \quad (2)$$

**Теорема 1.** Если  $a(\sigma) \in C^\infty(\mathbf{R}^n \setminus N)$  и справедливы неравенства (2), то для любой обобщенной функции  $f \in H_s^l$ ,  $l \in \mathbf{R}$ ,  $s \in \mathbf{R}$  существует регуляризация  $[af] \in H_s^{\tilde{l}}$  обобщенной функции  $a(\sigma)f \in D'(\mathbf{R}^n \setminus N)$  и справедливо неравенство

$$\|[af]\|_s^{\tilde{l}} \leq C \max_{|\alpha| \leq \nu(l)} c_\alpha \|f\|_s^l.$$

Доказательство теоремы содержится в [2]. Одним из наиболее важных применений теоремы 1 является построение регуляризации обобщенной функции  $P^{-1}(\sigma)f$ , где  $f \in S'(\mathbf{R}^n)$ , а  $P(\sigma)$  – многочлен.



Представляет интерес построение регуляризации обобщенной функции  $a(\sigma)f$  в случае, когда  $f \in D'_F(\mathbf{R}^n)$ .

**Теорема 2.** Если функция  $a(\sigma) \in C^\infty(\mathbf{R}^n \setminus N)$  удовлетворяет неравенствам

$$|\partial^\alpha a(\sigma)| \leq C_\alpha(K) [d(\sigma, N)]^{q_\alpha(K)}, \quad \sigma \in K \setminus N, \quad \alpha \in \mathbf{Z}_+^n, \quad C_\alpha(K) > 0, \quad q_\alpha(K) \leq 0$$

где  $K$  – произвольный компакт, и выполнено условие

$$\sup_{|\alpha| \leq p, K \subset \Omega} |q_\alpha(K)| < +\infty, \quad p \in \mathbf{Z}_+,$$

то существует регуляризация  $[af]$  обобщенной функции  $a(\sigma)f \in D'_F(\mathbf{R}^n \setminus N)$ , принадлежащая пространству  $D'_F(\mathbf{R}^n)$ .

Доказательство теоремы 2 содержится в [3]. Построение указанных в теоремах 1 и 2 регуляризаций обобщенных функций основано на методе вычитания и существенно использует теорему о продолжении Уитни.

**Заключение.** Полученные результаты могут быть использованы для построения решений задачи Коши для уравнений, не разрешенных относительно производной по времени, построения решения краевой задачи в полупространстве в классе обобщенных функций медленного роста по методике предложенной в [5,6]. Например, в [6] построение решения модельной краевой задачи в полупространстве в классе обобщенных функций медленного роста сведено к построению регуляризации линейной комбинации преобразований Фурье граничных данных, коэффициентами которой являются частичные преобразования Фурье ядер Пуассона и построению решения краевой задачи, преобразование Фурье граничных данных которой сосредоточено на множестве, состоящем из конечных точек и сводится к решению системы линейных уравнений.

## Список литературы

1. Комеч, А.И. Линейные уравнения в частных производных с постоянными коэффициентами / А.И. Комеч // Итоги науки и техн. Сер. Современ. пробл. мат. Фундам. направления/ВИНИТИ. – 1988. – Т. 31. – С. 127–261.
2. Pavlov, A.L. On regularization of a certain class of distributions / A.L. Pavlov // Math. Nachr. – 2015. – Т. 288(17–18). – С. 2093–2108. – DOI: 10.1002/mana.201400362 .
3. Павлов, А.Л. Регуляризация обобщенных функций / А.Л. Павлов // Мат. сб. – 2023. – Т. 214, № 4. – С. 76–113. – DOI: <https://doi.org/10.4213/sm9803>
4. Павлов, А.Л. Регуляризация обобщенной функции, голоморфно зависящей от параметра / А.Л. Павлов // Сиб. мат. журнал. – 2023. (Принята к публикации).
5. Павлов, А.Л. Задача Коши для одного уравнения соболевского типа в классе обобщенных функций медленного роста/ А.Л. Павлов // Матем. тр. – 2018. – Т. 21, № 1. – С. 125–154. – DOI: <https://doi.org/10.17377/mattrudy.2018.21.106>
6. Павлов, А.Л. Разрешимость краевых задач в полупространстве для дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами в классе медленно растущих обобщенных функций / А.Л. Павлов // Сиб. мат. журнал. – 2013. – Т. 51, № 5. – С. 871–889. – DOI: <https://doi.org/10.1134/S0037446615050122>

# *Прикладная математика, прикладная информатика и теория систем управления*

УДК 615.849

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ НОМЕРНЫХ ЗНАКОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕЙ**

*Асеев И.С., Шевцова Е.В.*

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*ilya.aseev.2000@mail.ru*

**Введение.** Система искусственного распознавания автомобильных номеров нужна для регулирования автомобильного трафика и отслеживания транспортных средств на разных объектах. Такая система работает быстрее и точнее, чем человек. Для идентификации автомобильных номеров лучше всего подходят искусственные нейронные сети [1], которые имитируют функции человеческого мозга и могут решать задачи любой сложности.

**Основная часть.** Современные системы распознавания номеров включают в себя следующие основные алгоритмические шаги:

1) Сбор и подготовка данных. Система получает видео или изображения с камеры, после чего производится их предварительная обработка и анализ.

2) Локализация номерного знака. С помощью специальных алгоритмов система ищет и определяет на изображении или видео номерные знаки, отделяя их от остальной части автомобиля.

3) Сегментация символов. В этом этапе система распознавания номеров разделяет номерной знак на отдельные символы, что позволяет лучше их распознать и идентифицировать.

4) Распознавание символов. Последний этап работы системы заключается в распознавании каждого символа на номерном знаке. Для этого применяются методы компьютерного зрения и машинного обучения, которые позволяют достичь высокой точности распознавания.

В зависимости от используемой системы распознавания номеров могут быть также применены дополнительные этапы обработки и анализа изображения, такие как фильтрация шумов, улучшение контрастности и детализации изображения и другие.

Именно с пунктами 2 и 4 лучше всего справляются современные нейронные сети.

Одна из самых популярных архитектур нейросетей для распознавания объектов – это сверточные нейронные сети (CNN). Сверточные нейронные сети способны эффективно обрабатывать

изображения и выделять важные признаки, такие как границы и текстуры. Для распознавания номерных знаков можно использовать сверточные нейронные сети с архитектурой, специально разработанной для этой задачи [2].

После обучения сверточная нейронная сеть может быть использована для распознавания номерных знаков на новых изображениях. Для этого изображение подается на вход сети, которая выдает предсказание номера автомобиля. Это предсказание может быть дополнительно обработано для улучшения точности и устранения ложных срабатываний.

Единственный существенный фактор эффективности системы распознавания является ее точность. Идентификация номера в 99% случаях возможно только при самых идеальных условиях, то есть очень редко, этому способствуют всевозможные варианты расположения модуля распознавания, слабое освещение, загрязненность знака, неудачный угол крепления номера и многое другое.

**Заключение.** Остаются открытыми два насущных вопроса:

1) Хватает ли текущей точности систем распознавания номеров для решения основных задач контроля автотранспорта. Ответ скорее да, чем нет. Во всем мире она колеблется в пределах 95 %. Однако, эта точность обусловлена статистической совокупностью решаемых подзадач распознавания номерных пластин, что означает что одни подзадачи могут выполняются достаточно хорошо, а другие нет. Такие выводы не могут удовлетворить человеческую природную потребность в уменьшении энтропии вокруг себя. Отсюда вытекает второй логический вопрос.

2) Сможем ли мы добиться максимального результата распознавания, используя современные методы искусственных нейронных сетей? Ответ нет. На самом деле идентификация номеров по сравнению с идентификацией лиц – задача тривиальная. Мы учим распознавать сеть, так как распознавал бы объекты человек, а человек не совершенен в этой области.

Для предотвращения таких ситуаций и повышения контроля автотранспорта, стоит отказаться от человеческого способа распознавать объекты. А использовать другие методы идентификации автомобилей. Например, более «роботизированные и программные», то есть завязанные на логике машин и искусственного интеллекта, а не на логике человека [3].

### Список литературы

1. Системы распознавания автомобильных номеров // Widemax: [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.videomax.ru/support/articles/raspoznavanie-avtomobilnykh-nomerov-proektirovanie-nastroyka/> (дата обращения: 23.09.2023). – Текст: электронный.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – 2-е изд. М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2016. – 1104 с.
3. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход, том 1. Решение знания и рассуждения / С. Рассел, П. Норвиг. – 4-е изд. Пер. с англ. - СПб.: ООО "Диалектика", 2021. - 704 с.

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ РЕЗИНЫ

*Белов Е.О, Пушнина И.В.*

ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог, РФ  
*ebelov@sfnedu.ru*

**Введение.** За последнее десятилетие резиновая промышленность столкнулась с постоянно растущим спросом на улучшенные характеристики продукции с точки зрения функциональности, жесткости условий эксплуатации и срока службы. Эта задача была решена за счет усовершенствованных процедур проектирования продукции, улучшенных материалов и усовершенствованного производства. Произошли важные эволюционные изменения в производстве, которые привели к повышению качества и однородности продукции, вероятно, поровну распределенных между техническими и организационными изменениями [1-4].

**Основная часть.** Все производство резиновых изделий начинается с процесса смешивания, и на поведение резиновой смеси как в последующих процессах, так и в конечном продукте сильно влияет обработка, которую она получает в этом процессе [5].

В смешивании каучука преобладают периодические процессы, поэтому существует возможность варьировать режим смешивания в широком диапазоне за счет манипулирования рабочими параметрами, в отличие от непрерывного смешивания, при котором режим смешивания гораздо сильнее зависит от геометрии смесителя. Это дает переработчику необходимую возможность смешивать широкий спектр соединений с помощью одной системы смешивания. Несмотря на это, оказалось очень трудно получить одинаковые свойства от партий резиновой смеси, смешанных в машинах с различной геометрией. Причины этих различий достаточно ясны.

Каждая конструкция смесителя будет иметь разные термодинамические характеристики и будет придавать смешиваемым материалам различную историю напряжений и деформаций. Существуют также масштабные эффекты, связанные со смесителями аналогичной конструкции, но разного размера, поэтому необходимо предпринять позитивные шаги для обеспечения того, чтобы резиновые смеси, разработанные в лабораторных смесителях, могли быть переданы в производство без существенного изменения свойств.

Лабораторные системы смешивания, настроенные для хорошей имитации производственного смешивания, все еще редкость. так что необходимо предпринять позитивные шаги для обеспечения того, чтобы

резиновые смеси, разработанные в лабораторных смесителях, могли быть переданы в производство без существенного изменения свойств. Лабораторные системы смешивания, настроенные для хорошей имитации производственного смешивания, все еще редкость. так что необходимо предпринять позитивные шаги для обеспечения того, чтобы резиновые смеси, разработанные в лабораторных смесителях, могли быть переданы в производство без существенного изменения свойств. Лабораторные системы смешивания, настроенные для хорошей имитации производственного смешивания, все еще редкость.

**Заключение.** Опыт для настройки конструкции внутреннего ротора для определенного диапазона резиновых смесей существует в ряде компаний, но количественные методы для прогнозирования влияния геометрии смесителя и условий смешивания на развитие свойств резиновой смеси и, таким образом, обеспечивают жизнеспособность инструменты проектирования только начинают появляться. Это проблема значительной академической активности и промышленного интереса.

Между тем, инженерная изобретательность и эмпирический опыт продолжают способствовать эволюционному прогрессу в смесительном оборудовании.

#### Список литературы

1. Белов Е. О., Пушнина И. В. Процесс переработки автомобильных шин. Сборник трудов международной молодёжной школы «Инженерия –XXI» (г. Новороссийск, 21–22 апреля 2023 г.) / под общ. ред. к. ф. н. доцента И. В. Чистякова. – Новороссийск: Изд-во НФ БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. – 216 с.
2. Смирнова К. А., Заргарян Е. В. Задачи при управлении температурными режимами. Сборник трудов международной молодёжной школы «Инженерия –XXI» (г. Новороссийск, 21–22 апреля 2023 г.) / под общ. ред. к. ф. н. доцента И. В. Чистякова. –Новороссийск: Изд-во НФ БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. –216 с.
3. Тямкин С.А. Способ термической переработки изношенных шин / С.А. Тямкин // Перспектива. Сборник статей молодых учёных. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2017. – №10. – С. 467-471.
4. Технологии переработки и утилизации отходов. (<http://www.waste.org.ua/modules.php?name:=Forums&file:=viewtopic&t=2&posts=0&postorder=asc&start=0>). Проверено 13.01.22 г.
5. Забнева Е.А., Заргарян Е.В. Исследование преимуществ автоматизации покраски автомобилей. Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2020» [Электронный ресурс]: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2 том, 2020. 143-147

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СТАНКОВ С ЧПУ

*Бережной К.А., Ганцевский А.В.*

ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог, РФ  
*gantsievskii@sfedu.ru*

**Введение.** Важность ЧПУ сегодня такова, что почти все традиционные станки адаптировали его к своим системам для достижения большей точности, эффективности и ускорения производства. ЧПУ относится к автоматизированной системе станков, которая работает с помощью команд, запрограммированных в системе хранения (компьютере). Именно это отличает ЧПУ от остальных обычных станков, которые управляются с помощью маховиков или рычагов [1-4].

**Цель.** Провести анализ работы станков с ЧПУ, выявить положительные и отрицательные качества существующих разработок и найти наилучшее решение по устранению отрицательных качеств.

**Основная часть.** Во всех станках детали обрабатываются с помощью системы координат, которая определяет движение, которому должен следовать исполняющий механизм. В случае с ЧПУ для этого используется компьютерная программа; эта программа, в свою очередь, выполняется компьютером машины. Перемещение осей в станке с ЧПУ возможно благодаря контурам управления, состоящим из линейных направляющих (энкодеров) и центрального блока (рис.1)

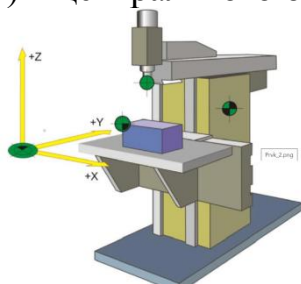


Рис. 1. Станок с осями X, Y и Z

Важность ЧПУ для механических цехов заключается в возможности выполнять множество задач за короткий период времени и с минимальным вмешательством человека. Благодаря станкам, работающим с помощью компьютеризированного числового управления, можно оптимизировать производственные процессы, что приводит к сокращению сроков поставки и, конечно же, стоимости продукции и рабочей силы. Но в дополнение к этим преимуществам, ЧПУ позволяет обрабатывать очень сложные детали, которые невозможно было бы обработать на обычных станках или которые, если бы они были доступны, были бы очень дорогими для обработки.

Станки с ЧПУ и системы управления можно разделить по следующим характеристикам:

**1. По управлению исполняющих механизмов:**

– позиционные системы ЧПУ. Они позволяют автоматически установить рабочие органы в позицию, заданную программой управления станком, причем в период перемещения рабочего органа обработка не ведется.

– прямоугольные системы ЧПУ. Они обеспечивают рабочие перемещения по программе исполнительных органов станка поочередно вдоль его осей координат на заданные расстояния.

– контурные системы ЧПУ. Они обеспечивают автоматическое перемещение рабочего органа по произвольной траектории с контурной скоростью, заданной программой управления станком.

– комбинированные системы ЧПУ. Они обладают свойствами как позиционных, так и контурных систем.

– настоящее время отечественной промышленностью выпускаются станки с ЧПУ, имеющие от 2 до 6 одновременно управляемых координат. Это позволяет успешно решать проблему обработки таких сложных деталей, как лопатки турбин, имеющих переменный профиль в сечении и изменяющийся радиус кривизны.

**2. По количеству осей координат системы станка ЧПУ:**

– 3-ёх осевые X, Y, Z (или 3-ёх круговые A, B, C). Наиболее распространенные в станках с ЧПУ, где исполняющие механизмы или заготовка движется по определенным координатам (рис.2)

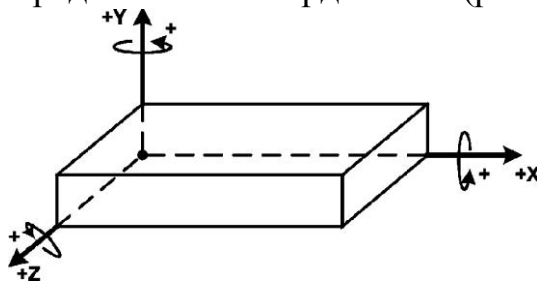


Рис. 2. Система координат

– 3-ёх осевые X, Y, Z с вторичным движением. Современные программируемые станки кроме основных (первичных) движений X, Y и Z имеет и вторичные движения, которые должны быть параллельны основным. Они обозначаются буквами U, V и W. Если станок использует также дополнительные круговые движения, обозначение происходит с помощью букв D и E.

**3. По позиционированию механизмов:**

– Относительность расположения механического движения, где точка текущего расположения механизма считается началом координат, допускается наращивание дополнительного пути.

– Абсолютность расположение подвижных механизмов, определяется по расстоянию от начала координат

#### **4. По программному обеспечению**

- Дискретное программное обеспечение.
- Контурное программное обеспечение.
- Программно-математическое

Много есть положительных сторон станков с ЧПУ, но есть и отрицательные стороны. Зачастую пользователи ожидают, что станок будет производить заготовки с заданными геометрическими и размерными характеристиками, минимизировать брак и т.п. Но в итоге сталкиваются с отклонением заданных параметров, браком и многим другими не приятным последствиями. Одна из наиболее весомых причин является точность станка с ЧПУ. Точность станка с ЧПУ – это способность станка изготавливать детали требуемых размеров и с соблюдением геометрических допусков. Другими словами, точность – это разница между реальным измерением и измерением, полученным вашей системой.

**Заключение.** Для решения проблем с точностью в современных станках с ЧПУ стали использовать лазерные трекеры, которые подтверждают свою эффективность. Для уже готовой и активированной машины геометрическая точность машины и точность размещения могут быть проверены одновременно. А так же точность станка сильно зависит от настройки, окружающей среды и предыдущего использования. Статические нагрузки, нагрузки при обработке и тепло, выделяемое в результате предыдущей обработки, являются частью истории эксплуатации. В результате станки с ЧПУ, требующие высокоточной обработки, должны регулярно калиброваться.

#### **Список литературы**

1. Клюев А.С., Глазов Б.В., Дубровский А.Х., Клюев А.А. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с
2. А.В Ганциевский, Ю.А. Заргарян Современное состояние дел в области технологий интеллектуальных замков. В сборнике: Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и акустика. ПАРУСА-2021. Сборник трудов X Всероссийской научной конференции и молодежного научного форума в рамках мероприятий, посвященных году Науки и технологий в Российской Федерации. Геленджик, 20-22 октября 2021. – С. 194-199.
3. Соловьев В.В., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Белоглазов Д.А., Косенко Е.Ю. Проектирование и моделирование объемного гидропривода. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – 97 с.
4. E.V. Zargaryan, Y.A. Zargaryan, I.A. Dmitrieva, O.N. Sakharova and I.V. Pushnina. Modeling design information systems with many criteria. Information Technologies and Engineering – APITECH - 2020 // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 2085(3). – P. 032057(1-7). doi:10.1088/1742-6596/1679/3/032057.



## РОЛЬ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Горбачева О.И., Григорьев С.В.*, канд. техн. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*o.gorbacheva@donnu.ru*

**Введение.** В настоящее время в современном обществе электронное обучение, как и дистанционное, имеют достаточно широкое применение. Огромную роль, среди информационно-коммуникационных технологий занимают облачные технологии, которые существенно улучшают и упрощают взаимодействие между преподавателями и студентами. Применение облачных технологий в процессе обучения приводит к оптимизации учебно-методической деятельности, как студента, так и преподавателя, повышению эффективности коммуникационных связей. Возрастает стимул у студентов к учебной деятельности, создаются более комфортные условия для нее.

**Цель работы.** Определить, насколько эффективно и необходимо применение облачных технологий в системе дистанционного обучения для совершенствования образовательного процесса и повышения качества образования.

**Основная часть.** Облачные технологии – это механизм, который трансформирует информацию и доставляет ее пользователю через онлайн-сервис. Облачные технологии позволяют любому пользователю удаленно и без ограничений использовать сервисы, хранилища. Облачные образовательные технологии включают как методы технологической, так и информационной природы, которые дают возможность делиться информацией и доступом к разнообразным образовательным платформам. Применение облачных технологий является неотъемлемой составляющей современного дистанционного образования. Для организации системы дистанционного обучения необходимо решить следующие задачи:

- размещение учебного материала, представленные разными формами (тексты, видеоматериалы, лабораторные практикумы; электронные библиотеки и др.);
- средства контроля и оценка уровня освоения материала (тесты, контрольные задания и др. и средства их, журнал успеваемости);
- средства взаимодействия обучающегося и преподавателя (on-line консультации, обмен файлами, электронная почта и др.);
- средства управления учебным процессом (создание групп обучающихся, формирование базы учебных материалов и др.);
- средства управления информационной средой дистанционного образования (хранение материалов, создание новых пользователей, создание новых курсов и др.) [1].

Рассмотрим, как облачные технологии интегрированы в систему дистанционного обучения. Облачные технологии предлагают новую систему, отличную от привычного способа организации учебного процесса, формируя возможности для индивидуального обучения, мультимедийных занятий и коллективного преподавания. Преподаватели и студенты образовательных учреждений получают дополнительные возможности для развития дистанционных программ в безопасной облачной среде. Безопасная и гибкая облачная инфраструктура разрешает организовать на одной площадке взаимообмен информацией между обучающимися и преподавателями, унифицировать учебные и рабочие процессы. Виртуальные серверы обеспечивают доступ ко всей необходимой для дистанционного обучения информации. Облачные технологии дают возможность: проводить лекции и семинары в режиме реального времени; доступа к библиотечным фондам; хранить методические материалы; проводить аттестацию. Также на базе облачных технологий можно организовать дистанционные занятия согласно расписанию учебного заведения вне зависимости от того, где физически присутствуют преподаватели и студенты. Обучение с применением облачных технологий обеспечивает наиболее быстрый и удобный доступ для студентов к учебным материалам: лекциям, практическим, лабораторным и самостоятельным работам. Главная цель применения облачных технологий при дистанционном обучении – повышение уровня и качества методической, дидактической, информационной поддержки организации учебного процесса, как для студентов, так и для преподавателей [3].

К преимуществам применения облачных технологий можно отнести следующие факторы:

- студент может работать с информацией с разных устройств (персональный компьютер, планшеты, телефоны и т. п.), подключенных к Интернету;

- одну и ту же информацию студенты могут просматривать и редактировать одновременно с разных устройств;

- многие платные программы стали доступными обучающимся в виде облегченных бесплатных версий или веб-приложений;

- если что-то случится с устройством студента, то важная информация сохранится в облаке, а студент может взять любое другое устройство в качестве замены;

- преподавателю и студенту удобно делиться информацией друг с другом [2].

Помимо этого, применение облачных технологий дает возможность получать образование и лицам с ограниченными возможностями в состоянии здоровья, а также лицам, которые по каким-то обстоятельствам не имеют возможности находиться в образовательном учреждении.

Часто используемой в учебном заведении является обучающая платформа Moodle. Это система управления, специально разработанная для создания обучающих онлайн курсов. В основу программы положена модульная структура. Насчитывается очень большое количество дополнительных модулей, реализующих ту или иную функцию. Это может быть модуль опроса, задания, экзамена, лекции и др. Эта электронная обучающая платформа Moodle нацелена на организацию взаимодействия между преподавателем и студентами, как очной, так и дистанционной формы обучения.

**Заключение.** Использование облачных технологий высшими учебными заведениями это перспективное направление в сфере образования, которое позволяет повысить эффективность высшего образования. Облачные технологии это альтернатива традиционным формам организации учебного процесса, возможность для персонального обучения, интерактивных занятий и коллективного преподавания. Использование в учебном процессе облачных технологий дает возможность эффективнее совершать сбор, обработку и передачу информации, фундаментально изменить содержание, методы и организационные формы обучения, подготовки высококвалифицированных специалистов. Широкое применение облачных технологий ставит перед образовательной средой задачи интеграции облачных сервисов в систему образовательного учреждения, пересмотра своей ИТ-инфраструктуры и внедрения инновационных технологий в образовательный процесс. Делая вывод по всему вышесказанному, хочется подчеркнуть, что облачные технологии стали отличным помощником в системе дистанционного обучения, данные технологии становятся все доступнее, а обучиться работе с ними не составляет особого труда.

### Список литературы

1. Роберт И.В. Дидактика эпохи цифровых информационных технологий // Профессиональное образование. Столица. – 2019. – № 3. – С. 16-26.
2. Абдулина, Э. М. Облачные технологии в образовании / Э. М. Абдулина. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 52 (290). — С. 7-9. — URL: <https://moluch.ru/archive/290/65873/> (дата обращения: 29.09.2023).
3. Казанцев И.И. Облачные технологии в образовании: новые подходы к дистанционному обучению // Научный аспект. – 2023. – № 6 – Самара: Изд-во ООО «Аспект», 2023. – Т18. – С. 2381-2389.

**РАЗВИТИЕ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДУЛЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ  
«ЛИТЕРАТУРНЫЙ КОНКУРС» АРМ СЕКРЕТАРЯ ПРАВЛЕНИЯ ТС  
«СОЮЗ ПИСАТЕЛЕЙ ДНР»**

*Дзисяк В.В., Шевцова Е.В.*

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*violettadzisiak@gmail.com*

Многие авторы мечтают выиграть крупную литературную премию и в один час стать знаменитыми. По данной причине они участвуют во всевозможных конкурсах. Конкурсы — это инструмент продвижения для начинающего и опытного автора. В последнее время в России появляются все новые и новые литературные конкурсы. Помимо известных государственных учреждаются негосударственные, муниципальные, конкурсы союзов писателей, частных лиц и т.д.

Литературные конкурсы разнообразны и разнонаправлены как в организационном, так и в идеологическом плане. По статистике, только в 2022 году в России были проведены и опубликованы результаты 197 литературных конкурсов, и с каждым годом количество конкурсов и участников растет [1].

В положениях конкурсов литературных работ поставлены требования к представленным произведениям. Эти требования могут быть расписаны без указания четких критериев оценивания, которых, к сожалению, на данный момент нет, как и единой системы оценивания. В связи с этим, ставится вопрос о необходимости создания универсальной системы оценивания, которая может быть использована при суждении литературных конкурсов.

Любое судейство в той или иной мере базируются на чувствах судей, какими бы компетентными и справедливыми они ни были, и, тем самым, является субъективным инструментом. Но, тем не менее, критерии оценок, которыми руководствуются судьи, существуют. В результате формализации каждый из критериев предполагает назначение определенного «веса» для получения окончательной оценки.

При разработке модуля оценивания в работе применяется модернизированный метод Дельфи с использованием модернизированного подсчета оценки GOE (Grade Of Executive) в фигурном катании [2, 3].

При проведении литературного конкурса и выставлении оценок работам участников каждый судья руководствуется некоторыми критериями. Основанием для разработки критериев и показателей оценки конкурсных работ на всех этапах проведения конкурса являются

определенные Положением о конкурсе его цели и задачи, тематические направления и жанры, а также результаты анкетирования специалистов, задействованных в организации и проведении конкурса. Показатели оценки по критериям и их выражение в баллах или «вес» критерия могут содержаться в соответствующей документации организации, проводящей конкурс.

Каждый специалист, задействованный в организации и проведении конкурса творческий человек, который может иметь свое видение на установленные стандартом «веса» критериев, либо среди судей конкурса может быть несогласный со стандартом. В таком случае судьи могут путем голосования определить новые «веса» для каждого критерия. Для этого используется часть модуля, основанная на модернизации метода Дельфи.

Определяется критерий остановки — минимальный показатель критерия, ниже которого не может быть «вес». Судьи называют показатели критериев, которые, они считают, необходимы при итоговом оценивании работ участников. Эти показатели вносятся в систему.

Система определяет крайние точки зрения — самую высокую и самую низкую оценку альтернативе (верхний и нижний квартиль). Расстояние между квартилями (доверительный интервал) характеризует разброс экспертных оценок, то есть согласованность точек зрения экспертов.

Далее предьявляется отчет по работе системы, в котором указаны средняя арифметическая оценка, которая выступает искомым «весом» критерия, и судьи, чьи показатели могут выходить за границы доверительного интервала. Судьи, ознакомившись с данным отчетом, могут изменить свое решение и откорректировать показатели, либо завершить голосование.

После внимательного ознакомления и проверки работ участников, каждый судья выставляет по каждому прописанному критерию оценку. Под оценкой стоит понимать, какое место, по мнению судьи, достоин занять участник конкурса.

Предположим, места пронумерованы от 1 до N, где N — количество участников в конкурсе. Места по каждому критерию не повторяются. Например, судья определяет места по критерию «оригинальность». Поставить двоим участникам второе место он не может.

Все оценки переносятся в модуль, после происходит подсчет по каждому критерию для каждого участника итогового балла путем применения модернизированного метода подсчета оценки GOE:

1. стоимость критерия делится на десять;
2. складываются все поставленные судьями оценки, и сумму разделить на количество судей (среднее арифметическое);
3. число, полученное в первом пункте, умножается на число полученное во втором пункте и округляется до сотых долей;

4. получившаяся цифра прибавляется к стоимости критерия.

При итоговой оценке всего конкурса необходимо сосчитать все баллы участников по отдельным критериям. Ссылаясь на правило 9 системы оценивая балльных танцев Skating [4], победителем конкурса становится тот участник, у которого минимальная сумма баллов.

Современная творческая натура, видя простоту применения информационных технологий практически во всех сферах жизни и в любой части мира, желает обрести такую же простоту и в литературном творчестве, тем самым запрашивая не только создание системы оценивания конкурса, но и максимальную простоту ее применения. Для этого разрабатывается приложение, основанное на интеграции языков программирования с базами данных.

Выбирается язык программирования Python, поскольку это очень популярный, широко используемый язык программирования общего назначения [5]. Взаимодействие Python совершается с базой данных MS Access.

Проведенная работа показала необходимость наличия у литературных организаций универсальной системы оценивания конкурсов литературных работ и применение приложения, для комфортной работы пользователя.

#### **Список литературы**

1. Архив литературных конкурсов. – URL:[https://konkursy.pishi.pro/arhiv/?tv|date\\_start-year=2022](https://konkursy.pishi.pro/arhiv/?tv|date_start-year=2022)
2. Вертакова Ю.В., Козьева И.А., Кульбожев Э.Н. Управленческие решения: разработка и выбор. - М.: КНОРУС. 2005.
3. Объясняем, как считаются оценки в фигурном катании// URL:[https://tass.ru/sport/7065115?utm\\_source=yandex.ru&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=yandex.ru&utm\\_referrer=yandex.ru](https://tass.ru/sport/7065115?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru).
4. Dawson A. The skating system: Working out the marks in ballroom dancing championships // Imperial Society of Teachers of Dancing, 1963.
5. Какой язык программирования выбрать для работы с данными?// URL:<https://habr.com/ru/articles/337330/>

## ПОДГОТОВКА ОБУЧАЕМЫХ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ В ВОПРОСАХ АНАЛИЗА ФИНАНСОВЫХ ПОТОКОВ С ПОМОЩЬЮ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

*Дивин Е.Н.*, канд. экон. наук, доц.

Филиал ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I», г. Ярославль, РФ  
*divin.rgotups@mail.ru*

**Введение.** В настоящее время актуально использование прикладных программ для решения экономических, математических и финансовых задач. Эта проблема актуальна и при подготовке выпускников высших учебных заведений. Использование математических моделей и готовых алгоритмов решения финансовых задач в учебном процессе студентов позволяет повысить профессиональные аналитические компетенции.

**Цель** работы – рассмотреть методику использования финансовых функций в практике выпускников ВУЗов на базе программного обеспечения Microsoft Office.

**Основная часть.** По умолчанию в процессоре таблиц MS Excel имеется 15 финансовых функций. Остальные 38 функций становятся доступными только после подключения надстройки «Analysis Package» [1].

Основное применение финансовых функций в финансово-экономических расчетах. По типу решаемых задач все финансовые функции MS Excel можно условно разделить на следующие 4 основные группы (в других версиях программ они могут отличаться):

- функции анализа потоков платежей (функции БС – будущая стоимость, ПС – текущая стоимость);
- функции анализа инвестиционных проектов (функции ЧПС – общая стоимость денежных потоков на текущий день, ЧИСТНЗ – чистая приведенная стоимость инвестиций на основе указанной процентной ставки и нерегулярных платежей);
- функции анализа ценных бумаг (функции ДОХОД, ЦЕНА);
- функции расчета амортизационных отчислений (АПЛ – превращает стоимость актива в один выбранный период, АСЧ – возвращает амортизацию актива в данный период времени).

Технология работы с финансовыми функциями аналогична технологии работы с функциями других категорий.

Любая финансовая операция создает денежный поток: возникновение отдельных платежей или множество платежей и поступлений, распределенных по времени [2].

В процессе количественного анализа финансовых операций удобно абстрагироваться от их специфического экономического содержания и

рассматривать генерируемые ими денежные потоки как числовой ряд, состоящий из последовательности распределенных по времени платежей  $CF_0, CF_1, \dots, CF_n$ . Для обозначения такой серии в мировой практике широко используется термин денежный поток (CF). Отдельным элементом такого ряда номеров  $CF_t$  является разница между всеми поступлениями (притоками) средств и их потреблением в течение периода времени финансовой сделки. Таким образом, значение  $CF_t$  может иметь как положительный, так и отрицательный знак.

Количественный анализ денежных потоков обычно сводится к вычислению следующих признаков:

1. FV (будущая стоимость) – будущая стоимость денежного потока ( $FV = CF_n$ );

2. PV (приведенная стоимость) – приведенная стоимость денежного потока ( $PV = CF_0$ ).

3.  $CF_t$  (денежный поток) – значение денежного потока в периоде времени  $t$ ;

4.  $r$  (процентная ставка) – процентная ставка;

5.  $n$  – срок (количество периодов) финансовой сделки.

Рассмотрим наиболее распространенные виды денежных потоков, их свойства, а также технологию автоматизации расчетов вышеуказанных характеристик денежных потоков.

Простейший (элементарный) денежный поток состоит из одного платежа и последующего поступления, или разового поступления и последующего платежа, делённого на  $n$  периодов времени (например, лет) [3].

Примерами финансовых операций с такими платежными потоками являются срочные депозиты без сложения, разовые займы, некоторые виды ценных бумаг. Серия номеров в этом случае состоит только из двух элементов:

- $\{-PV; FV\}$  – депозит; сначала даём деньги (знак «-» для значения PV), затем получаем (знак «+» для значения FV);

- $\{PV; -FV\}$  – кредит; сначала берем деньги (знак «+» для значения PV), затем отдаем их (знак «-» для значения FV).

При количественной оценке финансовых операций важно учитывать признаки движения денежных средств. При этом необходимо определиться, на чьих позициях мы стоим. Вышеупомянутые элементарные потоки рассматриваются с позиции вкладчика. Если стоять в положении банка, то признаки ценностей изменятся на противоположные.

При работе с финансовыми функциями MS Excel также крайне важно учитывать признаки денежных потоков.

Транзакции с элементарными платежными потоками имеют четыре параметра – FV, PV,  $r$ ,  $n$  ( $CF_t = 0$ ). Значение любого из них может быть определено из известных значений трех других. Для установления



взаимосвязи между перечисленными параметрами рассмотрим алгоритм решения на позициях вкладчика.

Для определенности в дальнейшем речь пойдет о долгосрочных финансовых операциях ( $n \geq 1$ ), где  $n$  – количество лет.

Рассмотрим пример: сумма в 10 000 долларов США, размещенная в банке для депозит на срок 3 года. Номинальная ставка по депозитам 10 % годовых. Проценты по вкладу начисляются один раз в год. Какова будет стоимость депозита в конце срока?

Согласно условиям данной сделки, известны следующие значения: начальная сумма депозита  $PV = 10000$ , процентная ставка  $r = 10\%$  и срок  $n = 3$  года.

Общее выражение стоимости будущего денежного потока выглядит следующим образом:

$$FV = PV (1 + r)^n \quad (1)$$

Подставляя исходные данные, получаем:

$$FV = 10000 * (1 + 10\%)^3 = 10000 * 1,331 = 13310 \text{ (у. э.)}$$

Методика процентных вычислений по формуле (1) называется **building** (наращивание).

Формула (1) может использоваться только для целого числа лет  $n$ , для дробных чисел необходимо использовать формулы смешанных вычислений.

Удобно вычислять значения  $FV$ ,  $PV$ ,  $r$  и  $n$  в среде обработки таблиц MS Excel, используя финансовые функции.

**Заключение.** Использование финансовых функций позволяет ускорить вычисление характеристик финансовых потоков в экономических моделях с помощью табличного процессора MS Excel.

### Список литературы

1. Симонович, С. В. Информатика Базовый курс: 3-е издание/С. В. Симонович. – СПб.: Питер, 2022. – 640 с.: илл. ISBN: 978-5-4461-0842-8
2. Кашаев, С. М. Работа в Excel 2007. Начало/С. М. Кашаев. – СПб.: Питер, 2009. – 144 с.: илл. ISBN: 978-5-388-00725-4
3. Фрай Кертис Д. Microsoft Office Excel 2007. Русская версия: пер. с английского / К. Д. Фрай. – М.: Издатели ЭКОМ, 2007. – 480 с.: илл. ISBN: 978-5-9900924-8-8

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ОПЕРЕЖАЮЩИХ ИНДИКАТОРОВ

*Жмыхова Т.В.*, канд. физ.-мат. наук, доц.,

*Котова О.В.*, канд. физ.-мат. наук

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

г. Макеевка, РФ

*t.v.zhmykhova@donnasa.ru, o.v.kotova@donnasa.ru*

**Введение.** Актуальность задачи по изучению факторов (индикаторов), влияющих на повышение эффективности деятельности организаций, работающих на строительном рынке, не вызывает никаких сомнений. Сложность установления взаимосвязи между группами факторов обусловлена переменчивостью их характера и разного их проявления в зависимости от рассматриваемого периода времени. В связи с чем возникает необходимость в постоянном исследовании и ранжировании факторов по степени их влияния на строительную сферу с целью своевременного осуществления регулирования и управления.

**Основная часть.** Целью данного исследования стало сравнение влияния сезонности на факторы, ограничивающие производственную деятельность строительных организаций, посредством применения двумерного частотного анализа. Для анализа использованы панельные данные, выбранные поквартально за период 2013-2022 гг., и удовлетворяющие факторам, которые могут в свою очередь ограничить производственную деятельность строительных организаций, а именно: недостаток заказов, высокий уровень налогов и недостаток квалифицированных работников. Набор данных – удельный вес респондентов, отметивших перечисленные выше факторы, как ограничивающие. Для сравнения влияния сезонности на факторы, ограничивающие производственную деятельность строительных организаций, использованы методы непараметрической статистики, в частности метод кросстабуляции с дальнейшим анализом степени связи между признаками.

**Заключение.** В результате проведенного анализа установлено, что формирование трудового потенциала в строительстве находится в прямой зависимости от технологии производства, а уровни сложности выполняемых работ – от сезонных и климатических условий. Также было выявлено наличие сильной связи между сезонами в признаке «Недостаток заказов», а наибольшее влияние сезонность оказывает на недостаток квалифицированных работников, и в меньшей степени – на высокий уровень налогов.

### Список литературы

1. Росстат, раздел «Строительство» – URL: [https://rosstat.gov.ru/leading\\_indicators](https://rosstat.gov.ru/leading_indicators)

## НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК НА НЕФТЕПРОВОДЕ

*Заргарян Е.В.*, канд. техн. наук, *Морозов Н.В.*  
ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог, РФ  
*nikomo@sfnedu.ru*

**Введение.** Утечки из нефтепровода были предметом серьезного беспокойства жителей трубопроводных сооружений. Выбросы от этих утечек опасны из-за токсичности газов. Утечки также могут вызвать взрыв, который может привести к неизмеримым человеческим жертвам. Это также может привести к ухудшению состояния окружающей среды и разрушению экосистем. Выявлены две основные причины утечек; естественные причины (например, разрывы из-за старения) и искусственные (в результате вандализма). Трубопроводный вандализм относится к преднамеренному акту повреждения нефтепроводов с преступными финансовыми намерениями [1-3].

Помимо опасности для здоровья и ухудшения состояния окружающей среды, нехватка нефтепродуктов, резкое падение производства электроэнергии и лавина социально-экономических проблем являются другими проблемами, связанными с вандализмом на нефтепроводе. Последствия утечек от вандализма неизмеримы и не поддаются количественной оценке для любой нации, стремящейся к величию. Одним из способов обойти эти проблемы является предотвращение утечек, и даже если они происходят, их необходимо обнаруживать и сообщать о них достаточно рано, чтобы достаточно быстро остановить ситуацию, прежде чем она перерастет в катастрофическую стадию. Чтобы реализовать это, детекторы газа или нефти могут быть установлены поперек нефтепровода и в других уязвимых местах.

В данной работе под утечкой понимается нарушение герметичности нефтепровода с истечением из него нефтепродукта

**Основная часть.** Утечки подразделяются на два основных типа: разрывные и фоновые [4, 5].

1. Разрыв – это утечка, возникающая мгновенно из-за увеличения расхода сверх максимальной пропускной способности трубы или из-за чрезмерной нагрузки на стенку трубы.

2. Фоновая утечка происходит постепенно с течением времени и обычно вызывается развитием коррозии или ухудшением ситуации.

Второй тип сложнее обнаружить из-за медленного процесса формирования при адекватном снижении давления. Напротив, разрыв происходит мгновенно с очевидным снижением давления, которое может быть обнаружено мониторингом трубы на основе датчиков.

Когда мы пытаемся обнаружить и определить местонахождение утечек, мы хотим обнаружить фоновые утечки, даже самые маленькие по объему. Технологии обнаружения утечек трубопроводов играют важную роль в обеспечении безопасности трубопроводного транспорта и обеспечивают дополнительные преимущества для окружающей среды, экономики и здоровья человека.

Методов много и они доступны для обнаружения и локализации утечек в водопроводных и нефтепроводах, начиная от визуального осмотра трубопровода, прямой механической выемки грунта и заканчивая сложными методами на основе моделей, такими как методы, основанные на балансе массы/объема, волне отрицательного давления, переходной модели, распределенной модели. оптические волокна и акустические волны.

Согласно API 1130, системы обнаружения утечек (LDS) делятся на внутренние LDS и внешние LDS. Внутренние системы используют полевые приборы (например, датчики расхода, давления или температуры жидкости) для контроля внутренних параметров трубопровода. Внешние системы используют другой набор полевых приборов (например, инфракрасные радиометры или тепловизионные камеры, датчики паров, акустические микрофоны или оптоволоконные кабели) для мониторинга параметров внешнего трубопровода.

Внешние методы исключены из обсуждения вычислительного мониторинга конвейера (CPM), поскольку они не отвечают требованиям выполнения вычислений по параметрам поля для вывода о выпуске товара. Каждый метод CPM, включая метод переходных процессов в реальном времени, имеет свои преимущества и ограничения.

Например, обширные усилия по настройке и настройке. Ни одна технология не подходит для всех применений трубопроводов. Можно использовать несколько систем CPM, чтобы обеспечить CPM, который может более широко охватывать условия эксплуатации трубопровода. Большинство технологий CPM до сих пор не доказали свою способность обеспечивать удовлетворительную работу CPM в условиях периодического или постоянного провисания линии. Если это условие существует в конкретном трубопроводе, то критерии выбора CPM для этого трубопровода должны учитывать условия эксплуатации.

В настоящее время исследования в основном сосредоточены на разрывах или фоновых утечках с высокой скоростью утечки (LR), вызванных повреждением третьей стороной или скачками давления. Это означает, что, как правило, только при высоком LR методы могут эффективно обнаруживать утечки [7].

Обнаружение фоновой утечки затруднено, поскольку небольшие утечки могут не генерировать достаточных изменений для полевых приборов, таких как датчик динамического давления, что означает, что преобразователь не будет измерять изменение давления. Однако в

некоторых ситуациях должны обнаруживаться фоновые или небольшие утечки, даже просачивание или капание.

**Заключение.** Экономическая эффективность заключается в снижении потерь нефтепродукта, экологического воздействия на почву и питьевую воду, экономических затрат на простой предприятия и риска возникновения чрезвычайной ситуации. Применение искусственных нейронных сетей при низких затратах позволило повысить точность определения места утечки. В результате чего увеличивается скорость обнаружения утечки и уменьшается время ликвидации разлива.

### Список литературы

1. Морозов Н. В., Заргарян Е. В. Модель обнаружения утечек в жидкостном трубопроводе. Сборник трудов международной молодежной школы «Инженерия – XXI» (г. Новороссийск, 21–22 апреля 2023 г.) / под общ. ред. к. ф. н. доцента И. В. Чистякова. –Новороссийск: Изд-во НФ БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. –216 с.
2. Соловьев В.В., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Белоглазов Д.А., Косенко Е.Ю. Проектирование и моделирование объемного гидропривода. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – 97 с.
3. Заргарян Е.В., Рой Ю.В. Сепарация газа на промыслах и типы применяемых устройств. В сборнике: Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020. Материалы X Международной научно-технической конференции. "Технологии разработки информационных систем", 2020. С. 143-149
4. <https://www.videogsm.ru/datchik-vlazhnosti-dlya-teplits-garazha-ili-podvala.php>
5. E.V. Zargaryan, Y.A. Zargaryan, I.A. Dmitrieva, O.N. Sakharova and I.V. Pushnina. Modeling design information systems with many criteria. Information Technologies and Engineering – APITECH - 2020 // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 2085(3). P. 032057(1-7). doi:10.1088/1742-6596/1679/3/032057.
6. Лавриков А.Н. Заргарян Ю.А. Оборудование для сбора сейсмических данных. Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и акустика: сборник трудов X Всероссийской научной конференции и молодежного научного форума (в рамках мероприятий, посвященных году Науки и технологий в Российской Федерации (Геленджик, 20–22 октября 2021 г.) ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021. – 579 с. с 221-225 ISBN 978-5-9275-4002-0
7. Соловьев В.В., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Шаповалов И.О., Косенко Е.Ю. Элементы объемного гидропривода. – Таганрог, 2015.

## АНАЛИЗ МЕТОДИК ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗКИ

*Заргарян Е.В.*, канд. техн. наук, *Смирнова К.А.*  
ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог, РФ  
*evzargaryan@sfnedu.ru*

**Введение.** Особенно во время обработки режущими инструментами с покрытием, в процессе проводимости, тепло резания должно проходить через покрытия толщиной в несколько микрон, а затем поступать в корпус инструмента. В последние годы все больше и больше инструментов с покрытием используются при резке металлов, особенно при обработке труднообрабатываемых материалов. Нанесение инструментального покрытия повышает износостойкость и твердость инструмента [1,2]. Тонкая пленка, нанесенная на поверхность режущего инструмента, может повысить прочность инструмента и уменьшить трение между инструментами и заготовками, а также играет важную роль в процессе теплопроводности в корпус режущего инструмента. Исследование распределения температуры в корпусе инструмента имеет важное значение для исследования термического влияния на стойкость инструмента и качество заготовки. Выделение тепла и теплопроводность инструментов с покрытием в процессе резания сильно отличаются от инструментов без покрытия из-за наличия пленки покрытия инструмента.

**Основная часть.** Низкий коэффициент трения покрытия инструмента может снизить силу резания и температуру резания. Покрытие инструмента также можно использовать в качестве термостойкого материала для режущих инструментов, чтобы предотвратить попадание чрезмерного тепла в матрицу инструмента. Поэтому инструменты с покрытием широко используются в механической обработке [3], и очевидно, что покрытие может продлить срок службы инструмента.

Теплопроводность в процессе резки можно разделить на три состояния, включая переходное состояние интенсивности, переходное состояние и установившееся состояние. Многие исследователи использовали теплопроводность Фурье для изучения температуры резания при установившейся теплопроводности.

Сиджи Ян и др. [4] представили тепловую модель для описания изменения температуры инструмента с покрытием при сухом фрезеровании суперсплавов на основе никеля для лопаток турбины и построили модель стационарные дифференциальные уравнения теплопроводности. В предлагаемой модели рассчитываются как тепловые

потоки в инструмент от передней поверхности, так и из-за износа задней поверхности, чтобы оценить распределение температуры инструмента в различных состояниях инструмента. Влияние износа задней поверхности учитывают по быстрому износу инструмента.

Баири и др. в работе [5] исследовано влияние материалов покрытия на тепловое поведение тела, подвергающегося воздействию нескольких движущихся источников теп. Они рассчитали установившуюся температуру, используя конечное комплексное преобразование Фурье и конечное косинусное преобразование Фурье. Прогнозируемая температура из представленной аналитической модели сравнивается с МКЭ как численно, так и экспериментально определенными температурами при том же граничном условии. Сравнение результатов показало, что температуры, полученные при аналитическом прогнозировании, моделировании FEM и экспериментальных измерениях, хорошо согласуются.

Эволюция температуры резания хорошо описывается фурье-теплопроводностью в установившемся режиме теплопроводности. Однако, когда теплопроводность быстрая и нестационарная, для проведения численных расчетов необходимы некоторые меры предосторожности.

При нестационарной теплопроводности большого теплового потока время теплового воздействия часто меньше времени тепловой релаксации материала, поэтому теплопроводность — это тепло, распространяющееся с конечной скоростью. Когда в некоторых точках наблюдаются тепловые возмущения в теплопроводящей среде, другие точки теплопроводящей среды одновременно будут затронуты тепловым возмущением. Согласно физическому закону, скорость передачи тепла не может быть быстрее скорости света.

Недопустимо считать, что скорость теплового возмущения бесконечна. При нестационарном состоянии процесса теплопроводности, таком как высокие (или низкие) температурные условия теплопроводности, сверхвысокая скорость теплопроводности, а также в микропространстве или очень короткие временные рамки теплопроводности, температура меняется быстро.

Предположение о теплопроводности Фурье, которое подразумевает, что скорость теплопроводности бесконечна, не подходит для нестационарной теплопроводности. Мозафарифард и др.

Целью работы [6] является реализация быстропереходного процесса теплового потока в пористой среде, предлагая фракционную субдиффузионную модель Каттанео типа Капуто для изучения аномального процесса диффузии в температурном отклике двухфазной системы. Классическая модель Фурье не может объяснить такие эффекты, поскольку предполагается, что тепловая волна распространяется с бесконечной скоростью и тепловые взаимодействия между фазами происходят одновременно. Член дробного временного дифференцирования позволяет

интерпретировать эффекты памяти физической задачи, обеспечивая наиболее точное предсказание переходного процесса теплового потока в системе твердое тело-жидкость при кратковременном тепловом возмущении.

Цендер [6] наблюдал явление тепловой волны в углеродистой стали AISI4340 посредством измерения температуры в инфракрасном диапазоне. Результаты экспериментов показали, что повышение температуры было большим по сравнению с окружающей средой, и область интенсивного нагрева не могла применить традиционную теплопроводность Фурье. В переходном состоянии интенсивности резания следует учитывать нефурье-теплопроводность в микро- или нанопаскальской теплопроводности для металлических материалов, модифицированных классической теплопроводностью Фурье.

**Заключение.** С разной степенью успеха было предложено множество подходов к моделированию температуры резания металла инструментами с покрытием. Наряду со сложными экспериментами подходов было предложено несколько аналитических и численных методов для моделирования распределения температуры. Для использования в дальнейшем было решено акцентировать внимание на методологии Цендера.

### Список литературы

1. Смирнова К.А., Заргарян Е.В. Классификация режущих инструментов. Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и акустика : сборник трудов XI Всероссийской научной конференции и молодежного научного форума (Геленджик, 1–3 ноября 2022 г.) / сост. Ю.Б. Щемелева, С.В. Кирильчик, А.Я. Номерчук ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022. – 578 с. стр 146-152 ISBN 978-5-9275-4268-0
2. Смирнова К. А., Заргарян Е. В. Задачи при управлении температурными режимами. Сборник трудов международной молодёжной школы «Инженерия –XXI» (г. Новороссийск, 21–22 апреля 2023 г.) / под общ. ред. к. ф. н. доцента И. В. Чистякова. –Новороссийск: Изд-во НФ БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. –216 с.
3. Заргарян Е.В., Рой Ю.В. Сепарация газа на промыслах и типы применяемых устройств. В сборнике: Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020. Материалы X Международной научно-технической конференции. "Технологии разработки информационных систем", 2020. С. 143-149
4. Yan, S.; Zhu, D.; Zhuang, K.; Zhang, X.; Ding, H. Modeling and analysis of coated tool temperature variation in dry milling of Inconel 718 turbine blade considering flank wear effect. *J. Mater. Process. Technol.* 2014, 214, 2985–3001.
5. Baïri, A.; Laraqi, N. Effect of thickness and physical properties of films on the thermal behavior of a moving rough interface. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* 2004, 26, 29–34.
6. Zehnder, A.T.; Rosakis, A.J. On the temperature distribution at the vicinity of dynamically propagating cracks in 4340 steel. *J. Mech. Phys. Solids* 1991, 39, 385–415.



## АНАЛИЗ СУШКИ ЗЕРНА ВЕНТИЛЯЦИЕЙ И ТЕПЛОМ

*Заргарян Ю.А.*, канд. техн. наук, *Панов М.А.*  
ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог, РФ  
*mipanov@sfedu.ru*

**Введение.** Сушка – важный процесс сохранения и сбыта многих растительных культур, особенно зерновых и бобовых. Одним из наиболее эффективных способов удаления влаги из зерна является сушка зерна при помощи вентиляции и тепла. Но как именно работает этот процесс? И какие инструменты можно использовать, чтобы сделать это эффективно? В прошлом, а в некоторых странах и сегодня сушка зерновых культур происходила на открытом воздухе: зерна раскладывали на солнце и собирали только через несколько часов или даже дней [1-5].

Хотя этот процесс был длительным и естественным, он все же не мог обеспечить качественную сушку. Кроме того, эту технику нельзя было использовать для больших объемов, поскольку не было свободного места. Вот почему сегодня мы используем зерносушилки: эти технологически продвинутые машины позволяют значительно ускорить процесс сушки, но без ущерба для качества зерна.

**Основная часть.** На момент сбора урожая зерновые и бобовые имеют определенное содержание влаги в зависимости от продукта (обычно этот показатель варьируется от 18 до 25%). Эту излишнюю воду, присутствующую в зерне, необходимо уменьшить до 13%, чтобы не ухудшить качество зерна и защитить зерно от воздействия микроорганизмов и последствий химического разложения во время хранения.

Хорошая зерносушилка не только обеспечивает быструю и безопасную сушку зерна, но также является компактной и простой в использовании машиной на предприятии, имеющей низкие затраты, особенно по сравнению с более крупными, но и более медленными сушильными машинами.

Для некоторых продуктов, например кукурузы, процесс сушки является не естественным, а искусственным: ведь в период созревания и уборки солнечной радиации недостаточно для испарения воды, как это обычно бывает с яровыми зерновыми. За счет нагнетания сжатого воздуха вокруг зерен и дополнительного нагревания вдуваемого в них воздуха увеличивается поверхностное испарение зерен. Внутренний воздух поднимается и затем удаляется последующим проходящим воздухом.

Для эффективной и результативной сушки необходимо найти баланс между скоростью и температурой, который позволяет осуществить процесс сушки в кратчайшие сроки и с минимальными энергозатратами и видом

нагрева, независимо от того, для какой цели используется зерно. б/у (посев, животноводство или пищевая промышленность).

В ходе последующего процесса сушки важно следующее:

1. Выбрать правильную температуру сушки, принимая во внимание, с одной стороны, максимальную температуру, которую продукт может выдержать без изменения его питательных или микробных компонентов, а с другой стороны, температуру, которая гарантирует максимальную скорость диффузии воды внутри продукта.

2. Определить оптимальный поток воздуха для обдува, чтобы обеспечить баланс между скоростью диффузии воды в изделии и скоростью ее испарения, чтобы воздух позволял массе высыхать и всегда был полностью насыщен водой.

Изначально процесс сушки был чрезвычайно естественным процессом, осуществляемым благодаря солнечному теплу. Процесс был очень простым и заключался в укладке отдельных зерен на лист настолько тонкий, что на них могли попадать солнечные лучи, и медленно высушивать их благодаря испарению воды. Это процесс, который занимает длительное время (от 3 недель до месяца) и нет никакой гарантии, что в конце изделие будет правильно высушено. В период сушки также существует риск кражи или поедания зерна птицами и грызунами.

Процесс сушки зерна с помощью вентиляции и тепла отличается: это более инновационная и функциональная технология, которая эффективно выполняется определенными машинами. Эти машины представляют собой зерносушилки, специально разработанные для удаления избыточной влаги из зерен и их сушки без каких-либо повреждений.

Зерносушилки специально предназначены для сушки зерна с помощью вентиляции и тепла: сочетание этих двух элементов, время от времени адаптируемых к обрабатываемому продукту, позволяет сохранить идеально высушенное зерно, готовое к хранению, продаже или даже быть готовым к последующему лечению.

Зерносушилка способна удалить до 5 % влаги за час горячего воздуха, а рис – до 1,3-1,5 % влаги. Сушилки сокращают время сушки, и даже с помощью машины компактных размеров можно сушить сотни тонн/граммов зерна.

Сушилки могут обеспечить оптимизацию расхода и превосходную однородность высушенного продукта в кратчайшие сроки благодаря двум важным моментам, а именно, за счет оптимального баланса между параметрами процесса и непрерывной рециркуляцией и смешиванием продукта в сушилке.

Использование сушилки показывает свою эффективность в способности удалять излишнюю влагу с помощью горячего воздуха: частичное отделение воды от отдельных зерен всегда происходит за счет испарения, но гораздо быстрее и безопаснее.

Процесс сушки имеет решающее значение, поскольку, если все сделано правильно, он дает всем фермерам возможность правильно и в течение длительного периода времени сохранять зерно, сохраняя все важные питательные компоненты зерна. Этот процесс также гарантирует замедление процессов старения и ферментации, которые могут привести к преждевременному плесневению зерна. Без соответствующего процесса сушки возможно развитие токсинов, таких как: Б. Афлатоксины – наносят непоправимый вред урожаю, приводя к неоправданному увеличению производственных затрат и снижению производительности и, следовательно, прибыли сельскохозяйственного предприятия.

**Заключение.** Сушка зерна с вентиляцией и теплом благодаря сушилкам – выгодный вариант, позволяющий избежать потери урожая из-за влаги в зерне после уборки. Процесс, осуществляемый сушилками, быстрый и безопасный: зерна сушатся без ущерба для качества зерна, а излишняя влага удаляется, что обеспечивает возможность длительного хранения.

Однако хорошая сушка – это еще не все. Есть еще один аспект, который следует учитывать при оптимальном хранении: очистка. Фактически, каждый товар на складе управляется по-своему и соответствует его использованию. Однако, что объединяет хорошо хранящиеся продукты, так это их чистота и порядок. Это правило касается и зерна: чем суше и чище зерно, тем лучше оно сохраняется.

### Список литературы

1. Панов М. А., Заргарян Ю. А. Структура САУ контроля, регулирования и управления. Сборник трудов международной молодёжной школы «Инженерия –XXI» (г. Новороссийск, 21–22 апреля 2023 г.) / под общ. ред. к. ф. н. доцента И. В. Чистякова. –Новороссийск: Изд-во НФ БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. –216 с.
2. Соловьев В.В., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Белоглазов Д.А., Косенко Е.Ю. Проектирование и моделирование объемного гидропривода. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – 97 с.
3. Заргарян Е.В., Рой Ю.В. Сепарация газа на промыслах и типы применяемых устройств. В сборнике: Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020. Материалы X Международной научно-технической конференции. "Технологии разработки информационных систем", 2020. С. 143-149
4. Маныч А.С., Заргарян Е.В. Контрольно-измерительные средства для взвешивания сыпучих грузов. Исследование и проектирование интеллектуальных систем в автомобилестроении, авиастроении и машиностроении: материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием / ред.кол.: Светличная Л.А., Чернова Т.В.; Таганрог: ЭльДирект – ИП Шкуркин Д.В. (ДиректСайнс), 2021. – 358 с., с 132-136
5. А.С. Маныч. Е.В. Заргарян. Контрольно-измерительные средства для взвешивания сыпучих грузов. Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности: материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. – Таганрог, 2021. – 493 с

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

**Золотая А.В.**<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, **Шевченко В.В.**<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону, РФ  
*a.zolota@donnu.ru*

**Введение.** Статистика населения – старейшая область демографии и всей статистической науки. Применение методов математической статистики в исследовании численности населения играет важную роль для анализа и прогнозирования демографической ситуации, как стран, так и их отдельно взятых регионов (территорий) [1 – 4].

**Цель работы** заключается в статистическом анализе и прогнозировании общей численности населения на примере Ростовской области Российской Федерации.

Для достижения цели работы были поставлены следующие *задачи*: 1) сделать аналитическое выравнивание ряда динамики, построить точечный и интервальный прогноз общей численности населения до 2025 г.; 2) построить точечный и интервальный прогноз количества женщин до 2025 г., используя корреляционно-регрессионный анализ.

В качестве исходной информации были использованы данные официальной статистики Росстата за 2012-2022 гг. о численности постоянного населения Ростовской области [5].

**Основная часть.** Графическое представление показателя численности постоянного населения Ростовской области представлено на рисунке. В результате его аналитического выравнивания линейное уравнение приняло вид:

$$y = 4217936 - 8986t \quad (1)$$

С помощью подстановки  $t$  получены значения выровненного ряда. Была использована трендовая линия, показывающая, насколько происходит уменьшение показателя численности населения. В результате проверки адекватности уравнения регрессии с помощью средней ошибки аппроксимации установлено, что данный показатель находится в пределах до 15 % и не превышает норму. Таким образом, уравнение регрессии хорошо состыковывается с трендовой линией.

При вычислении коэффициента эластичности, установлено, что он равен 0. Это свидетельствует, что влияние  $t$  на  $y$  слабое.

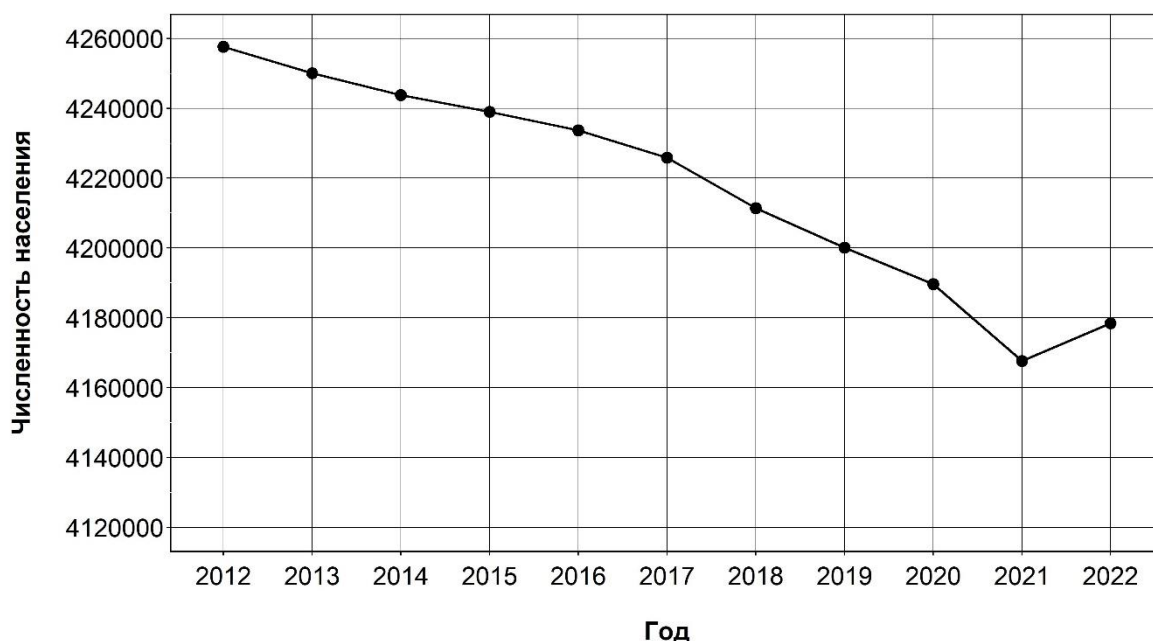


Рис. 1. Графическое представление численности постоянного населения Ростовской области (2012-2022 гг.)

Результат расчета коэффициента детерминации показал, что точность подбора данных является очень высокой. Проверка коэффициента детерминации и линейного уравнения на статистическую значимость с помощью критерия Фишера подтвердила исходную гипотезу.

Для построения точечного прогноза с 2023 г. по 2025 г. были подставлены значения аргументов  $t$ : 6; 7; 8 в приведенное выше уравнение (1). Получены численные значения 4164020; 4155034; 4146048 соответственно.

Дополнительное вычисление среднеквадратической ошибки и ошибки составления прогноза показало, что найденная ошибка достаточно мала и составила всего 7232 человека, что является приемлемым относительно большой численности населения.

Далее с использованием таблицы критерия Стьюдента были установлены границы интервалов, в котором будет сосредоточено 95% возможного числа постоянного населения:

$$y_{2023} = y(6) \pm t_{\text{набл}} \Delta_p \approx 4164020 \pm 7232 = (4171252; 4156788)$$

$$y_{2024} = y(7) \pm t_{\text{набл}} \Delta_p \approx 4155034 \pm 7232 = (4162266; 4147802)$$

$$y_{2025} = y(8) \pm t_{\text{набл}} \Delta_p \approx 4146048 \pm 7232 = (4153280; 4138816)$$

Что касается второй части исследования, то была обнаружена зависимость между среднегодовой численностью постоянного населения и количеством женщин. Все точки, построенные на основе исследуемых данных, образуют область, похожую на прямую линию, что может свидетельствовать о положительной корреляции. Для подтверждения наличия линейной зависимости проведено вычисление коэффициента

корреляции  $r$ , которое показало сильную (прямую) линейную зависимость между переменными ( $r \approx 0,84$ ).

Полученное линейное уравнение имеет вид:

$$y = 79699,1611 + 0,5166x \quad (2)$$

Для проверки качества модели был использован F-критерий, который показал, что модель адекватна. Также была сделана дополнительная проверка на статистическую значимость коэффициентов уравнения регрессии. В результате было установлено, что они не являются статистически значимыми.

Для построения точечного прогноза с 2023 г. по 2025 г. были подставлены значения аргументов  $x$ : 4164020; 4155034; 4146048 в приведенное выше уравнение (2). Получены численные значения 2230831,893; 2226189,726; 2221547,558 соответственно. Наблюдается общая тенденция к снижению численности населения женского пола.

Границы интервалов, в которых будет сосредоточено 95% прогнозируемых значений с 2023 г. по 2025 г. следующие:

$$y_{2023} \approx 2230831,893 \pm 16816,2328 = (2214015,6602; 2247648,1258)$$

$$y_{2024} \approx 2226189,726 \pm 19024,1508 = (2207165,5752; 2245213,8768)$$

$$y_{2025} \approx 2221547,558 \pm 21289,08578 = (2200258,47222; 2242836,64378)$$

**Заключение.** Проведено практическое исследование на основе данных Росстата по Ростовской области с применением ряда методов математической статистики. Научно-исследовательская работа в данном направлении является перспективной. Полученные результаты в дальнейшем можно использовать при изучении показателя общей численности населения Ростовской области по отдельным факторам, например, влияние рождаемости, смертности, миграции и т.д.

### Список литературы

1. Елисеева, И. И. Общая теория статистики / И. И. Елисеева, М. М. Юзбашев. – 5-е издание. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 656 с.
2. Полякова, В. В. Основы теории статистики : учеб. пособие / В. В. Полякова, Н. В. Шаброва. – М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – 2-е изд., испр. и доп. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 148 с.
3. Основные тенденции демографической ситуации в регионах России. – Текст: электронный // Научная электронная библиотека «Кибернетика», 2002-2009. – URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 25.09.2023)
4. Статистика численности, состава и движения населения. – Текст: электронный // ООО «Олбест». – 2017. – URL: <https://allbest.ru> (дата обращения: 05.01.2023)
5. Численность и состав населения. – Текст : электронный // Федеральная служба государственной статистики : официальный сайт. – 2023. – URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 25.09.2023).

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ, КАК ОДНО ИЗ ИННОВАЦИОННЫХ ВВЕДЕНИЙ В КУРСЕ ИЗУЧЕНИЯ ГЕНЕТИКИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ СРЕДНЕГО МЕДИЦИНСКОГО ЗВЕНА**

*Иванченко Е.Н.*

ГПОУ «Макеевский медицинский колледж», г. Макеевка, РФ  
*pogorelamariya@gmail.com*

**Введение.** Работа посвящена изучению наследования генетических признаков при помощи теории вероятностей. В ходе исследования были произведены математические вычисления наследования различных признаков человека с использованием законов Г. Менделя.

Работа представляет интерес для преподавателей математики, студентов, обучающихся в учебных заведениях СПО медицинского профиля. Математика — это точная наука, которая является основой подтверждения многих выдвигаемых суждений и гипотез, поэтому изучение применения математического метода для анализа наследования признаков является весьма актуальным.

**Основная часть.** В современном мире очень важно знать наследование внешних признаков человека, заболеваний, передающихся от родителей к потомству, наследование группы крови, чтобы в будущем воспроизвести здоровое потомство. При помощи теории вероятностей можно просчитать варианты нормы и наличие возможного заболевания у детей. Математические методы в генетике применяются для расчета количественных характеристик и процента наследования тех или иных признаков в ряду поколений. Это позволяет ученым значительно ускорить и облегчить процесс анализа проявления признаков, а медикам ожидать вероятность появления заболевания и своевременно начать его лечение. При анализе и расчете наследования признаков, всегда существует погрешность и вероятность совершения ошибки.

Математические методы применяют для описания различных биологических процессов, сравнения фенотипических признаков живых объектов. Эти методы предназначены для выявления закономерностей, свойственных биологическим организмам. После завершения анализа исследований выводится формальная запись процесса, выраженная определенной формулой. На основании математических исследований таких закономерностей, серии наблюдений делаются практические выводы, даются рекомендации. Описания свойств объектов, получаемые с помощью методов математической статистики, называют иногда моделями данных. Модели данных не содержат какой-либо информации или гипотез

о внутренней структуре реального объекта и опираются только на результаты инструментальных измерений. Основная цель моделирования – исследовать эти объекты и предсказать результаты будущих наблюдений. Моделирование – это один из методов познания окружающего мира, дающий возможность управлять им. Разработка и практическое использование математических моделей систем составляют перспективное направление применения в генетике человека, а объекты, с которыми имеют дело при изучении данной биологической науки, обладают большой вариабельностью и фенотипическим разнообразием.

Приведенный пример решения задачи на наследование резус-фактора и форм эритроцитов.

Генотип супруга, гетерозиготного по обоим признакам,  $\frac{Rhrh}{aA}$ . Генотип второго супруга  $\frac{rhrh}{aa}$ . У первого супруга образуется 3 % гамет с перекрестом ( $1,5\% \frac{Rh}{A}$  и  $1,5\% \frac{rh}{a}$ ), остальные 97 % – без перекреста ( $48,5\% \frac{Rh}{a}$  и  $48,5\% \frac{rh}{A}$ ). Второй супруг дает гаметы только одного типа  $\frac{rh}{a}$ . Вероятность рождения детей с различными генотипами выразится в следующих отношениях:  $48,5\% \frac{Rhrh}{aa}$ ,  $48,5\% \frac{rhrh}{Aa}$ ,  $1,5\% \frac{Rhrh}{Aa}$ ,  $1,5\% \frac{rhrh}{aa}$  т.е. 48,5 % резус-положительных с эритроцитами нормальной формы, 48,5 % резус-отрицательных с эллиптоцитозом, 1,5 % резус-положительных с эллиптоцитозом, 1,5 % резус-отрицательных с нормальными эритроцитами.

Рассмотрим случай, когда отец и мать имеют вторую группу крови ([A]), которой может соответствовать два генотипа: AA и Aa. Составим таблицу [таблица 1], со всевозможными сочетаниями генов и их вероятностями:

Генотип отца и матери	Вероятный генотип ребенка	Группа крови ребенка
$P \frac{1}{2} AA \times \frac{1}{2} AA$	$F \frac{1}{4} AA$	$\frac{1}{4} [A]$
$P \frac{1}{2} AA \times \frac{1}{2} Aa$	$F \frac{1}{4} (\frac{1}{2} AA \times \frac{1}{2} Aa)$	$\frac{1}{4} [A]$
$P \frac{1}{2} Aa \times \frac{1}{2} Aa$	$F \frac{1}{4} (\frac{1}{4} AA + \frac{1}{2} Aa + \frac{1}{4} aa)$	$\frac{3}{16} [A] + \frac{1}{16} [0]$

Вывод: Изучив данные, получаем результат: если у отца и матери вторая группа крови, то у ребенка может быть первая группа крови с вероятностью  $\frac{1}{16}$ , вторая – с вероятностью  $\frac{15}{16}$ .

Из-за вариабельности признаков у рассматриваемых объектов приходится считать их значения случайными величинами и пользоваться вероятностными постановками задач: результат наблюдений является выборкой, или выборочной совокупностью случайных величин из некоторой общей совокупности. Сама генеральная совокупность обычно трактуется как множество всех объектов определенного типа или как



совокупность всех возможных реализаций какого-либо явления. Здесь применим метод теории вероятности, при котором были проанализированы данные по скрещиванию гамет с различным набором доминантных и рецессивных признаков человека, наследованию групп крови. Путём несложных математических вычислений возможно узнать информацию о количестве и соотношении зигот по различным фенотипам, вычислить количество фенотипов и количество гамет, рассчитать вероятность проявления того или иного признака у человека в поколениях, передачу наследственных заболеваний различных генетических групп, что дает возможность их своевременного прогнозирования и дальнейшего необходимого корректирования лечения. В ходе исследования данного вопроса были выведены закономерности в том, что: количество гамет равно количеству фенотипов, и увеличивается в геометрической прогрессии 4,8,16... с увеличением с каждым разом количества гамет в два раза:  $2^n$ , где  $n$  - количество признаков, по которым мы проводим скрещивание: 2,3,4....

1. Количество разных фенотипов с проявлением одного различного доминантного или одного рецессивного признака увеличивается на один, а так как количество признаков тоже увеличивается на один, то количество таких фенотипов ( $m$ ) равно количеству признаков ( $n$ ), то есть,  $m=n$ . Например, если нам нужно найти количество фенотипов по 5 признакам, то  $m=5$ .
2. Количество разных фенотипов с проявлением разных доминантных или рецессивных признаков в количестве больше одного увеличивается на два. Зная 25 данные по любой из составленных таблиц, можно найти, например, количество этих фенотипов по 5 признакам: пусть количество таких фенотипов равно  $t$ , тогда  $t=2+g$  где,  $g$  это количество признаков по которым нужно найти фенотипы. Тогда  $t=2+5=7$ .
3. Количество зигот, получаемых при скрещивании, равняется  $3^n$ , где  $N$  – это количество проявления доминантных признаков.
4. Количество фенотипов с проявлением всех рецессивных признаков равно  $30=1$ .

Таким образом, можно сделать вывод, что в формировании комбинации генетических признаков ребенка принимают участие доминантные и рецессивные гены.

**Заключение.** Многие внешние данные человека и его заболевания являются итогом смешения генов матери и отца, и хотя далеко не всегда результат можно предсказать, но благодаря математическим методам и законам, можно их рассчитать с наибольшей вероятностью.

### Список литературы

1. С.Г. Мамонтов, В.Б. Захаров, Н.И. Соснин «Биология. Общие закономерности. 9 класс», учебник для общеобразовательных школ, Дрофа. – Москва, 2000.
2. Дромашко С.Е. «Биология и математика». – Издательство «Наука и техника», 1986.
3. Советов Б. Я., Яковлев С.А., Моделирование систем: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2001.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗНОСА ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ОТ ПЕРИОДА ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Истратова Е.Е.*, канд. техн. наук,

*Кожевников А.Н.*, канд. техн. наук, *Ласточкин П.В.*

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»,

г. Новосибирск, РФ

*istratova@mail.ru*

**Введение.** В работе были рассмотрены опоры линий электропередачи, широко применяемые в качестве поддерживающих конструкций в составе воздушных линий для передачи электрической энергии на большие расстояния. Актуальность исследования данного направления обусловлена тем, что в настоящее время происходит непрерывный рост городов и предприятий, что способствует увеличению мощности приемников электрической энергии, растет их общее количество и протяженность линий электропередачи. Вместе с этим, изменяются условия эксплуатации и ужесточаются требования к качеству и надежности электроснабжения [1,2].

Однако состояние сетей для передачи электрической энергии к промышленным и сельскохозяйственным предприятиям крайне ненадежно ввиду большого числа плановых и внеплановых отключений, которые приводят к значительному увеличению процента износа самих сетей. В статье [3] было отмечено, что около 75% линии электропередачи и подстанций уже выработали свой срок службы, что влечет за собой проблему с надежностью снабжения потребителей электроэнергией. Из-за высокого процентного износа электрооборудования возникают серьезные проблемы в системе электроснабжения страны. Так, до 70 часов в год возрастает перерыв в электроснабжении потребителей и до 25 % увеличивается потеря электроэнергии.

Таким образом, контроль фактического технического состояния линий электропередачи и всех их элементов является актуальной задачей. Для ее реализации целесообразно применение мониторинга, к одному из направлений которого относится мониторинг динамических характеристик опор линий электропередачи.

**Цель** работы заключалась в анализе и сопоставлении полученных спектров собственных колебаний частот опор линий электропередачи с их расчетными значениями с учетом периода эксплуатации.

**Основная часть.** Для выявления и исследования зависимости спектра собственных колебаний частот опор от их периода эксплуатации был выполнен комплексный анализ экспериментальных данных на основе процесса математического моделирования. Ситуационная, то есть практическая задача сводится к тому, что на основании расчетных и собранных экспериментальных данных изучается зависимость коэффициентов износа опор от периода их эксплуатации. Для удобства оценивания данных величин абсолютные значения были переведены в относительные.

Математическое моделирование включало создание, проверку и сравнительный анализ следующих регрессионных моделей: линейная регрессия; квадратичная регрессия; кубическая регрессия; показательная регрессия; экспоненциальная регрессия.

Для каждого вида регрессионного анализа были выполнены действия по определению вида уравнения зависимости результативного признака от независимой переменной; вычислению коэффициентов уравнения; построению графика уравнения и диаграммы рассеяния значений; определению коэффициентов линейной парной корреляции и детерминации; расчету средней ошибки аппроксимации; а также вычислению t-статистики Стьюдента, F-критерия Фишера, критерия Дарбина-Уотсона для проверки качества полученного уравнения регрессии. Исходные экспериментальные данные можно представить в виде облака точек, показанного на рис. 1.

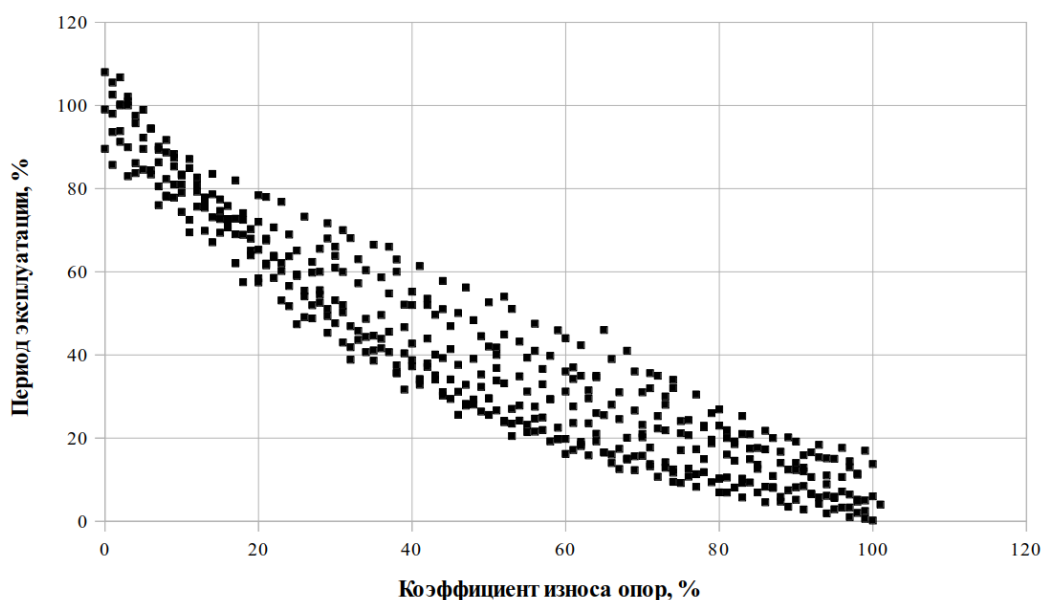


Рис. 1. Исходное облако точек

В ходе исследования экспериментальных данных и создания на их основе различных регрессионных моделей было проведено сопоставление полученных моделей. Результаты сравнительного анализа приведены в

табл. 1. В качестве критерия сравнения была использована величина средней ошибки аппроксимации.

Таблица 1

Средняя ошибка аппроксимации для различных моделей регрессии

Модель регрессии	Значение средней ошибки аппроксимации, %
Линейная регрессия	9.96
Квадратичная регрессия	8.49
Кубическая регрессия	3.57
Показательная регрессия	20.65
Экспоненциальная регрессия	20.65

Таким образом, проведенное исследование зависимости спектра собственных колебаний частот опор от их периода эксплуатации на основе процесса математического моделирования позволило сделать выводы о том, что наиболее точно данную зависимость можно описать с помощью кубической, квадратичной и линейной регрессии, при этом показательная и экспоненциальная регрессионные модели оказываются менее точными, несмотря на вполне корректное описание центральной части временного интервала.

**Заключение.** Практическая значимость работы заключается в том, что она может быть использована для прогнозирования значений величины коэффициента износа опор линий электропередачи в режиме реального времени на основе информации об их сроке службы.

#### Список литературы

1. Шуин, В. А. Моделирование кабельных линий напряжением 6-10 кВ при расчетах переходных процессов при замыканиях на землю / В. А. Шуин, Ю. Д. Кутумов, Н. В. Кузьмина // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2021. — № 5. — С. 30-40.
2. Магомедов, М. А. Эффективные конструкции поверхностных фундаментов для линий электропередач / М. А. Магомедов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. — 2021. — № 3 (38). — С. 440-445.
3. Чернов, О. И. Современное состояние электрических сетей России и перспективы развития / О. И. Чернов, Е. А. Елисеева // Academy. — 2021. — № 7 (70). — С. 20-22.

## ПЛЮСЫ И МИНУСЫ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ

*Касимов А.В., Пушнина И.В.*

ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог, РФ  
*kasi@sfnedu.ru*

**Введение.** Выбор между пневматической транспортировкой в разбавленной фазе, трубчатой кабельной транспортировкой и гибкой винтовой транспортировкой не всегда ясен. Когда дело доходит до выбора транспортной системы, каждый использует свои собственные правила, основанные на характеристиках сыпучего материала, скоростях и расстояниях потоков, источниках и пунктах назначения, конфигурации объектов и других переменных. Но те, кто имеет опыт работы со всеми типами систем, поймут, что единственное правило выбора конвейерной технологии заключается в том, что не существует заранее установленного.

Дело в том, что большинство материалов можно транспортировать несколькими разными способами. Никто не может сказать с уверенностью, например, что пневматическая транспортировка под избыточным давлением всегда является лучшим выбором для транспортировки высокотемпературных материалов или что трубчатый тросовый конвейер является единственным решением для транспортировки хрупких или рыхлых материалов [1].

Окончательный выбор сводится к балансированию преимуществ и недостатков каждого типа системы для рассматриваемого приложения со всеми его переменными. Тем не менее, следующие рекомендации помогут вам выбрать лучший способ транспортировки различных типов твердых сыпучих продуктов.

### **Основная часть [2-5].**

**1.** Первое правило: спросите экспертов. Хотя за последние десятилетия транспортные технологии значительно изменились, выбор лучшей системы и ее проектирование в соответствии с индивидуальными потребностями все еще остается искусством. Окончательный анализ требует глубокого понимания материала и процесса с учетом характеристик и ограничений каждой технологии транспортировки. Проконсультируйтесь со специалистом, не имеющим личной заинтересованности в продаже только одного вида оборудования. Эксперт оценит каждый параметр и порекомендует лучшее техническое решение для каждого применения.

**2.** Второе правило: выбрать оборудование. Гибкий винтовой конвейер, пневматические конвейеры или трубчатые кабельные конвейеры.

**3.** Третье правило: выбор системы. Факторы, которые следует учитывать при выборе типа конвейерной системы, включают: характеристики материала, источники и назначения материалов, передача настроек, условия установки, экономия.

**4.** Четвертое правило: характеристики материала. Наиболее важными факторами, которые следует учитывать, являются свойства транспортируемого материала, включая объемную плотность, свойства текучести, температуру, содержание влаги, присущие опасности и допустимую степень деградации. Пневматические и механические конвейеры могут перерабатывать широкий спектр продуктов: от мелких порошков до крупных частиц. Оба типа могут быть предназначены для транспортировки рыхлых или хрупких материалов, а также материалов, чувствительных к температуре.

**5.** Пятое правило: источник и назначение материалов. Поставки материалов включают технологическое оборудование, небольшие контейнеры (мешки, бочки или коробки), биг-бэги или транспортные средства для перевозки сыпучих грузов (грузовики, железнодорожные вагоны и корабли/баржи).

**6.** Шестое правило: настройки транспортировки. Когда расстояния короткие, возможна механическая или пневматическая транспортировка, но пневматические устройства, как правило, стоят дороже. По мере увеличения расстояния достигаются пределы использования одного гибкого шнекового конвейера, и может потребоваться несколько последовательных конвейеров. В какой-то момент система транспортировки с несколькими гибкими шнековыми конвейерами становится дороже, чем сопоставимая система транспортировки с трубчатым кабелем или пневматическая система транспортировки. Более высокая производительность, возникающая в результате перемещения больших объемов материала за относительно короткое время, например, при разгрузке с кораблей или барж, обеспечивается пневматической системой, в которой используются конвейерные линии большего диаметра.

**7.** Седьмое правило: условия установки. Планировка завода, требования к маршрутизации и соображения пространства важны при сравнении вариантов транспортировки. Если путь транспортировки прямой или слегка изогнутый, гибкий шнековый конвейер обычно справляется со своей задачей. Там, где в ограниченном пространстве происходит много изменений направления, преимущество имеет пневматическая или трубчатая кабельная система, хотя при проектировании трассы конвейера количество изгибов должно быть сведено к минимуму, а их расстояние между ними должно быть хорошо спланировано. Пневматические конвейеры хорошо подходят для прямой горизонтальной или вертикальной маршрутизации, но их не следует устанавливать под другими углами. Поскольку сочетание силы тяжести и

трения может отрицательно повлиять на работу установки. Если желательна наклонная или криволинейная транспортировка, лучшим выбором будет гибкий шнековый конвейер.

**Заключение.** Затем решение принимается на экономическом уровне: гибкие шнековые конвейеры предлагают более низкие инвестиционные и эксплуатационные затраты, особенно на более коротких расстояниях и с меньшей производительностью. Пневматические конвейеры, хотя их первоначальная стоимость и энергопотребление выше, более экономичны при транспортировке больших объемов и/или на большие расстояния. Первоначальные инвестиции в трубчатый кабельный конвейер обычно находятся между стоимостью гибкого винтового конвейера и стоимостью пневматической системы. Когда приложение требует нескольких типов транспортировки, можно использовать все три технологии, исключая компромиссы.

В конечном итоге, объективное мнение экспертов и полномасштабные испытания должны подтвердить правильный выбор конвейера для конкретного применения.

#### Список литературы

1. Маныч А.С., Заргарян Е.В. Автоматическая система управления дозирования сырья. Исследование принципов работы системы управления и сбора информации для сейсморазведки полезных ископаемых. Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021. Т.2, стр 209-213
2. Касимов А.В., Заргарян Ю.А. Устройства для дозирования и взвешивания сыпучих веществ. Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и акустика : сборник трудов XI Всероссийской научной конференции и молодежного научного форума (Геленджик, 1–3 ноября 2022 г.) / сост. Ю.Б. Щемелева, С.В. Кирильчик, А.Я. Номерчук ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022. – 578 с. стр 142-156 ISBN 978-5-9275-4268-0
3. Панов М.А., Заргарян Ю.А. Принцип работы устройств для сушки зерна. Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и акустика : сборник трудов XI Всероссийской научной конференции и молодежного научного форума (Геленджик, 1–3 ноября 2022 г.) / сост. Ю.Б. Щемелева, С.В. Кирильчик, А.Я. Номерчук ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022. – 578 с. стр 167-171 ISBN 978-5-9275-4268-0
4. Смирнова К. А., Заргарян Е. В. Задачи при управлении температурными режимами. Сборник трудов международной молодёжной школы «Инженерия –XXI» (г. Новороссийск, 21–22 апреля 2023 г.) / под общ. ред. к. ф. н. доцента И. В. Чистякова. –Новороссийск: Изд-во НФ БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. –216 с.
5. Соловьев В.В., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А., Белоглазов Д.А., Косенко Е.Ю. Проектирование и моделирование объемного гидропривода. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – 97 с.

## **РАЗРАБОТКА КРИПТОСИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА AES И ШИФРОВ СЛОЖНЫХ ЗАМЕН**

*Кислинский Е.К., Рыбалко Л.А.*

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*gkislinskiy@gmail.com, l.rybalko@donnu.ru*

С развитием информационных технологий и распространением цифровой среды, защита информации стала одной из главных проблем современного общества. Криптографические алгоритмы играют ключевую роль в обеспечении конфиденциальности и целостности данных. В данной научной публикации рассматривается разработка эффективной криптосистемы защиты информации, основанной на комбинации алгоритма AES и шифров сложных замен.

Существующие алгоритмы шифрования информации, такие как DES (Data Encryption Standard), не обеспечивают должной степени защиты, так как подвержены атакам с использованием вычислительных ресурсов. Алгоритм AES (Advanced Encryption Standard), который стал стандартом американского правительства, обеспечивает высокую степень безопасности, однако, имеет некоторые недостатки, включая его открытость и низкую производительность при работе с большими объемами данных [1].

Для усовершенствования криптосистемы защиты информации, мы предлагаем комбинировать алгоритм AES с шифрами сложных замен.

AES – это симметричный алгоритм блочного шифрования, который оперирует блоками по 128 бит. Это значит, что AES берет 128 бит исходного сообщения и превращает их с помощью некоего ключа в 128-битный шифротекст. Размер ключа может быть 128, 192 или 256 бит. Вместо длинных рядов бит или байтов, как в большинстве алгоритмов шифрования, в AES элементы организованы в матрицы 4 на 4 по 128 бит. Затем начинаем применять к этим матрицам функции SP-сети: переставлять элементы и подставлять байты на место других, то есть исходное сообщение трансформируется таким образом, чтобы взломщики не могли его прочитать. В алгоритме AES происходит несколько разных операций, все они совершаются в матрице 4 на 4. Затем начинается раунд шифрования. Сначала функция SubBytes подставляет на место одних байтов другие из таблицы замены. Затем ShiftRows сдвигает элементы в каждом ряду матрицы. После этого MixColumns перемешивает элементы в каждом столбце. Первый шаг – это подстановка, второй и третий – перестановка. В конце каждого раунда добавляется раундовый ключ (Round Key). Это и есть раунд шифрования [2].



Шифры сложных замен вносят дополнительный уровень безопасности и обеспечивают дополнительную степень разнообразия путем замены символов на основе сложных математических операций. Это позволяет улучшить стойкость криптосистемы и усложнить задачу злоумышленникам при взломе защищенной информации.

Существует множество вариаций шифров сложной замены. Приведем примеры некоторых из них.

#### Шифр Гронсфельда

Этот шифр сложной замены представляет собой модификацию шифра Цезаря числовым ключом. Для этого под буквами исходного сообщения записывают цифры числового ключа. Если ключ короче сообщения, то его запись циклически повторяют. Шифротекст получают примерно, как в шифре Цезаря, но отсчитывают по алфавиту не третью букву (как это делается в шифре Цезаря), а выбирают ту букву, которая смещена по алфавиту на соответствующую цифру ключа.

#### Система шифрования Вижинера

Система Вижинера подобна такой системе шифрования Цезаря, у которой ключ подстановки меняется от буквы к букве. Этот шифр многоалфавитной замены можно описать таблицей шифрования, называемой таблицей (квадратом) Вижинера.

Таблица Вижинера используется для зашифрования и расшифрования. Таблица имеет два входа:

- верхнюю строку подчеркнутых символов, используемую для считывания очередной буквы исходного открытого текста;
- крайний левый столбец ключа.

Последовательность ключей обычно получают из числовых значений букв ключевого слова.

При шифровании исходного сообщения его выписывают в строку, а под ним записывают ключевое слово (или фразу). Если ключ оказался короче сообщения, то его циклически повторяют. В процессе шифрования находят в верхней строке таблицы очередную букву исходного текста и в левом столбце очередное значение ключа. Очередная буква шифротекста находится на пересечении столбца, определяемого шифруемой буквой, и строки, определяемой числовым значением ключа.

#### Шифр "двойной квадрат" Уитстона

В 1854 г. англичанин Чарльз Уитстон разработал новый метод шифрования биграммами, который называют "двойным квадратом". Свое название этот шифр получил по аналогии с полибианским квадратом. Шифр Уитстона открыл новый этап в истории развития криптографии. В отличие от полибианского шифр "двойной квадрат" использует сразу две таблицы, размещенные по одной горизонтали, а шифрование идет биграммами, как в шифре Плейфейра. Эти не столь сложные модификации привели к появлению на свет качественно новой криптографической

системы ручного шифрования. Шифр "двойной квадрат" оказался очень надежным и удобным и применялся Германией даже в годы второй мировой войны.

Используя один или несколько шифров сложной замены, мы имеем возможность, например, взяв за основу алгоритм шифрования AES усложнить процесс генерации ключей этого алгоритма;

шифровать текст сначала одним алгоритмом шифрования, а затем другим;

усложнять какие-то части алгоритмов, путем применения в них методов из других алгоритмов, шифруя часть информации, которая будет использоваться в дальнейшем шифровании информации уже другим методом.

Есть множество вариантов комбинаций методов шифрования, каждый из которых нужно будет оценить на криптоустойчивость и сделать вывод о надежности или ненадежности той или иной комбинации [3].

Разработанная криптографическая система, основанная на комбинации алгоритма AES и шифров сложных замен, представляет собой эффективное решение задачи защиты информации. Эта система достигает баланса между безопасностью и эффективностью, обеспечивая высокий уровень защиты данных при выполнении операций шифрования и расшифровывания с удовлетворительной скоростью. Усложнение или упрощение шифрования определенных элементов системы даст возможность ускорить процесс шифрования и расшифровывания информации. Необходимо соблюсти баланс между показателями скорости и защищенности, чтобы система шифрования была пригодна к повсеместному применению. Данные тезисы представляют важный вклад в область криптографии и могут быть использованы для дальнейшего развития систем защиты информации.

### **Список литературы**

1. Панасенко С.П. «Алгоритмы шифрования. Специальный справочник». – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2009. – 531 с.
2. Сушко С.А. «Лекция по практической криптологии». – Днепропетровск, 2010, – 20 с.
3. Романец, Ю.В. Защита информации в компьютерных системах и сетях. [Текст] / Романец Ю.В. и др. – Москва: Радио и связь, 2001.

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УЧЕТА СДЕЛОК С НЕДВИЖИМОСТЬЮ

*Коваль К.В., Григорьев С.В.*, канд. техн. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*kirill.koval17@rambler.ru*

Система управления учета сделок с недвижимостью играет важную роль в современном мире недвижимости. Недвижимость остается одной из наиболее значимых и долгосрочных инвестиций для частных лиц и корпораций. Правильное управление этим активом не только обеспечивает защиту инвестиций, но и способствует оптимизации доходности и минимизации рисков. Система управления учета сделок с недвижимостью разработана с учетом следующих ключевых характеристик:

**Централизованный реестр.** Система обеспечивает централизованное хранение информации о сделках с недвижимостью. Это позволяет избежать дублирования данных и обеспечивает единообразный учет.

**Прозрачность.** Все данные о сделках с недвижимостью доступны для ознакомления заинтересованным сторонам, что обеспечивает прозрачность и уменьшает риски мошенничества.

**Автоматизация.** Система автоматизирует процессы учета сделок, что уменьшает вероятность ошибок и ускоряет обработку документов.

**Интеграция с государственными органами.** Система позволяет интегрироваться с государственными органами, такими как регистрационные службы, что упрощает процесс регистрации сделок.

Недвижимость, будь то жилые дома, коммерческие объекты или земельные участки, является одной из самых крупных статей активов для многих организаций и частных лиц. Важность учета сделок с недвижимостью подчеркивается следующими факторами. Финансовая прозрачность: Учет сделок с недвижимостью обеспечивает финансовую ясность, позволяя оценить стоимость активов и доходность инвестиций. Управление рисками: Система учета помогает выявить риски и принимать меры по их снижению. Это включает в себя анализ юридических и финансовых аспектов сделок. Оптимизация доходности: Анализ учета сделок с недвижимостью помогает оптимизировать доходность, например, путем принятия решений о реновации, аренде или продаже активов [1]. Внедрение системы управления учетом сделок с недвижимостью приносит следующие преимущества: снижение административных издержек; увеличение прозрачности рынка недвижимости; улучшение доступности данных для сторонних органов и инвесторов; уменьшение рисков мошенничества.

Система управления учета сделок с недвижимостью включает в себя несколько ключевых компонентов:

**База данных недвижимости:** Важно хранить информацию о всех активах, включая их расположение, характеристики, стоимость и текущий статус.

**Документация:** Электронное хранение документов, связанных с сделками, таких как договоры, соглашения, история транзакций и прочие важные документы.

**Финансовый учет:** Отслеживание всех финансовых аспектов сделок, включая платежи, налоги, расходы на обслуживание и доходы.

**Аналитика и отчетность:** Генерация отчетов и аналитических данных, которые помогают принимать информированные решения о сделках и управлении активами.

**Управление арендой:** Если актив арендован, система учета должна включать функциональность для управления арендными соглашениями, включая сроки аренды, арендные платежи и мониторинг выполнения условий аренды. Для успешной реализации системы управления учетом сделок с недвижимостью необходимо провести следующие шаги: разработка программного обеспечения; интеграция с базами данных и системами регистрации; обучение персонала и пользователей системы; внедрение системы на рынке недвижимости.

Современные технологические решения значительно упрощают управление учетом сделок с недвижимостью.

**Системы управления недвижимостью (Property Management Systems, PMS):** позволяют автоматизировать многие аспекты учета, включая управление арендой, финансовый учет и аналитику.

**CRM-системы:** помогают отслеживать контакты с клиентами и партнерами, что особенно важно в брокерском бизнесе.

**Геоинформационные системы:** позволяют анализировать и визуализировать географические данные, что полезно при оценке расположения недвижимости и ее потенциальной стоимости. [2]

Система управления учета сделок с недвижимостью играет ключевую роль в современном мире недвижимости. Она способствует финансовой прозрачности, управлению рисками и оптимизации доходности. Внедрение такой системы является важным шагом для управления недвижимостью как инвестицией.

### **Список литературы**

1. Архангельский, А. В. Управление недвижимостью: учебник / А.В. Архангельский, Ю. С. Кулешов. – М.: Юрайт, 2018. – 432 с.
2. Белова, Е. Н. Основы управления недвижимостью: учебник / Е.Н. Белова, Н. В. Терехина. – М.: Юрайт, 2017. – 336 с.

## КОПРОИЗВЕДЕНИЕ КОХОПФОВЫХ ПОЛИГОНОВ

**Кожухов И.Б.**, д-р физ.-мат. наук, проф., **Колесникова К.А.**  
 ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский  
 институт электронной техники», г. Москва, РФ  
 ФГБОУ ВО «Московский государственный университет  
 им. М.В.Ломоносова», г. Москва, РФ  
*ksenya.koless@gmail.com, kozhuhov\_i\_b@mail.ru*

*Полигоном*  $X$  над полугруппой  $S$  (см. [1, 2]) называется множество  $X$  с отображением  $X \times S \rightarrow X$  таким, что для любых  $x \in X, s, t \in S$  выполнено  $x(st) = (xs)t$ . Полигон над полугруппой – это алгебраическая модель *автомата*, где  $X$  – множество состояний, а  $S$  – полугруппа входных воздействий. Кроме того, полигон является *унарной алгеброй*, т.е. алгеброй, все операции которой унарны. Наконец, понятие полигона над полугруппой тождественно понятию *представления полугруппы преобразованиями* множества.

*Условием конечности* в математике называется условие, которому удовлетворяют все конечные объекты рассматриваемого класса. В алгебре это конечная порождённость, локальная конечность, артиновость, нётеровость и т.д. Объекты, удовлетворяющие тому или иному условию конечности зачастую имеют достаточно простое строение или, вообще, могут быть описаны. Хорошо известно, какую роль играют артиновость и нётеровость в теории колец и модулей: по теореме Веддербёрна – Артина – Молина всякое простое артиново справа или слева кольцо изоморфно кольцу матриц над телом, а полупростое – конечная прямая сумма простых. В коммутативных нётеровых кольцах имеет место разложение элемента в произведение простых.

Условиями конечности являются также хопфовость и кохопфовость. Алгебра  $A$  называется *хопфовой*, если она не имеет нетривиальных фактор-алгебр, изоморфных ей самой, и *кохопфовой*, если она не имеет нетривиальных подалгебр, изоморфных ей самой. Эквивалентные определения: хопфова – всякий сюръективный эндоморфизм является инъективным (а значит, является автоморфизмом), кохопфова – всякий инъективный эндоморфизм сюръективен (а значит, является автоморфизмом). Хопфовость и кохопфовость активно изучались в теории групп (см. [3]). Хопфовы и кохопфовы унитарные полигоны над группами были описаны авторами в [4].

Интересным вопросом является вопрос о взаимодействии условия на алгебру с такими действиями, как взятие подалгебры, фактор-алгебры (гомоморфного образа), прямого произведения, копроизведения и т.д. Целью данной работы является ответ на один из таких вопросов, а именно,

мы доказываем, что *копроизведение кохопфовых полигонов (над произвольной полугруппой) является кохопфовым полигоном.*

Если полигон  $X$  является объединением попарно не пересекающихся подполигонов  $X_i$  ( $i \in I$ ), то  $X$  называется *копроизведением* этих полигонов, и этот факт обозначается так:  $X = \coprod_{i \in I} X_i$ .

Ясно, что любой полигон является копроизведением своих компонент связности.

Если копроизведение полигонов  $\coprod_{i \in I} X_i$  кохопфово, то каждое  $X_i$  также кохопфово: действительно, если какое-либо  $X_i$  не является кохопфовым, т.е. имеет инъективный несюръективный эндоморфизм, то нетрудно построить инъективный несюръективный эндоморфизм  $\coprod_{i \in I} X_i \rightarrow \coprod_{i \in I} X_i$ . В частности, если полигон  $A \sqcup B$  кохопфов, то  $A$  и  $B$  кохопфовы. Следующая теорема показывает, что верно и обратное.

**Теорема.** Пусть  $S$  — полугруппа, а  $A$  и  $B$  — полигоны над  $S$ . Полигон  $A \sqcup B$  кохопфов в том и только том случае, если  $A$  и  $B$  кохопфовы.

**Доказательство.** Необходимость была установлена ранее, осталось доказать достаточность.

Предположим, что полигон  $A \sqcup B$  не является кохопфовым. Тогда существует инъективный несюръективный гомоморфизм  $\varphi: A \sqcup B \rightarrow A \sqcup B$ . Разложим  $A$  и  $B$  на компоненты связности:  $A = \coprod_{i \in I} A_i$ ,  $B = \coprod_{j \in J} B_j$ . Мы считаем, что  $I \cap J = \emptyset$  и при всех  $i, j$  выполнено  $A_i \cap B_j = \emptyset$ . Введём общее обозначение  $C_i$  ( $i \in I \cup J$ ), полагая  $C_i = A_i$  при  $i \in I$  и  $C_i = B_i$  при  $i \in J$ .

Так как гомоморфный образ связного полигона связан, то для каждого  $i \in I \cup J$  существует такое  $k \in I \cup J$ , что  $\varphi(C_i) \subseteq C_k$ . Следовательно, можем определить отображение  $\sigma: I \cup J \rightarrow I \cup J$  так, что  $\sigma(i) = k$  в случае, когда  $\varphi(C_i) \subseteq C_k$ . Множество  $I \cup J$  будем рассматривать как унар. Рассмотрим три случая.

*Случай 1.*

Пусть существует такое  $i \in I \cup J$ , что элементы  $\sigma^0(i), \sigma^1(i), \sigma^2(i), \dots$  различны (здесь и далее считаем, что  $\sigma^0(i) = i$ ). Без ограничения общности можно считать, что среди этих элементов бесконечно много различных элементов  $i_1 = \sigma^{k_1}(i)$ ,  $i_2 = \sigma^{k_2}(i)$ , ... множества  $I$  ( $k_1 < k_2 < \dots$ ). Так как  $i_1, i_2, \dots \in I$ , то мы имеем гомоморфизмы  $\varphi^{k_{n+1}-k_n}: A_{i_n} \rightarrow A_{i_{n+1}}$ . Построим эндоморфизм  $\alpha: A \rightarrow A$ , полагая

$$\alpha(a) = \begin{cases} \varphi^{k_{n+1}-k_n}(a), & \text{если } a \in A_{i_n} \text{ для некоторого } n, \\ a, & \text{если } a \notin A_{i_n} \text{ ни при каком } n. \end{cases}$$

Очевидно,  $\alpha$  — инъективный эндоморфизм полигона  $A$ . Он не сюръективен, так как  $A_{i_n} \cap \text{im } \alpha = \emptyset$ . Это означает, что  $A$  не является кохопфовым.

Первый случай — существование бесконечного порождаемого одним элементом подунара унара  $I \cup J$  — разобран. Поэтому далее мы можем считать, что все однопорождённые подунары конечны.

*Случай 2.*

Унар  $I \cup J$  содержит подунар, являющийся циклом с хвостом, т.е. имеются различные элементы  $i, \sigma(i), \dots, \sigma^k(i), \dots, \sigma^{k+d-1}(i)$  такие, что  $k, d \geq 1$  и  $\sigma^{k+d}(i) = \sigma^k(i)$ . Здесь  $\{\sigma^k(i), \sigma^{k+1}(i), \dots, \sigma^{k+d+1}(i)\}$  — цикл, а  $\{i, \sigma(i), \sigma^2(i), \dots, \sigma^{k-1}(i)\}$  — хвост.

Введём обозначения:  $\sigma^{k-1}(i) = p$ ,  $\sigma^{k+d-1}(i) = q$ ,  $\sigma^k(i) = r$ . Заметим, что  $p \neq q$ , но  $\sigma(p) = \sigma(q) = r$ . Тогда в силу инъективности  $\varphi$  будет выполнено  $\varphi(C_p) \cap \varphi(C_q) = \emptyset$ . Значит, ограничение  $\varphi$  на  $C_q$  не сюръективно. Поскольку  $\sigma^d(q) = q$ , получаем, что  $\varphi^d$ , ограниченный на  $C_q$  является инъективным не сюръективным эндоморфизмом. Тогда  $C_q$  — некохопфов подполигон кохопфова полигона ( $A$  или  $B$ ), что противоречит замечанию, сделанному выше.

*Случай 3.*

Пусть теперь унар  $I \cup J$  является объединением конечных циклов. Так как  $\varphi$  не сюръективно, то в каком-либо из этих циклов  $C_{i_0} \rightarrow C_{i_1} \rightarrow \dots \rightarrow C_{i_{n-1}} \rightarrow C_{i_0}$  найдётся не сюръективное звено. Но тогда  $\varphi^n$ , ограниченный на  $C_{i_0}$  будет являться инъективным не сюръективным эндоморфизмом этого полигона, что противоречит тому, что оба полигона  $A$  и  $B$  кохопфовы.

**Следствие.** Копроизведение  $A_1 \sqcup \dots \sqcup A_n$  кохопфово в том и только том случае, если каждое  $A_i$  кохопфово.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФ 22-11-00052.

### 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 // *Фундамент. и прикл. матем.* 2020. – Т. 23, № 3. – С. 141–199.
3. Курош А.Г. Теория групп. – М., «Наука» (Физматлит), 1967. – 648 с.
4. Кожухов И.Б., Колесникова К.А., О хопфовости и кохопфовости полигонов над группами // *Фундамент. и прикл. матем.* – 2020. – Т. 23, № 3. – С. 131–139.

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ: ТЕКУЩИЕ ОБЛАСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

*Корнев С.А., Шевцов Д.В.*, д-р техн. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*sergkornev2001@mail.ru*

Применение нейронных сетей и машинного обучения в обработке изображений – это актуальная и перспективная область исследований, которая находится на стыке компьютерного зрения, искусственного интеллекта и статистики. В последние годы данное направление получило значительное развитие благодаря увеличению вычислительных мощностей и доступности больших объемов данных. В данной работе мы рассмотрим текущие области применения нейронных сетей и машинного обучения в обработке изображений, а также перспективы развития этой области, проблемы, с которыми сталкиваются и методы их решения.

Одним из основных аспектов применения нейронных сетей и машинного обучения в обработке изображений является распознавание объектов на изображениях. Так, например, с использованием нейронных сетей можно автоматически распознавать лица, автомобили, животных и другие объекты на фотографиях. Также нейронные сети позволяют детектировать и классифицировать объекты в режиме реального времени, что находит свое применение в автомобильных системах безопасности и навигации [1].

Другим важным аспектом является улучшение качества изображений с помощью нейронных сетей. Фильтры глубоких нейронных сетей позволяют устранять шумы, увеличивать резкость и яркость, а также улучшать контрастность изображений. Это находит применение в областях, где важна высокая качества визуализации, таких как медицина, астрономия и мультимедиа.

Перспективы использования нейронных сетей и машинного обучения в обработке изображений трудно переоценить. В связи с постоянным ростом доступности больших данных и вычислительных мощностей, возникают новые возможности для создания более точных и эффективных алгоритмов обнаружения и классификации объектов на изображениях. Более того, совместное использование нейронных сетей с другими методами компьютерного зрения позволяет достигать еще более высоких результатов в различных областях, таких как робототехника, безопасность и медицина.



Одной из основных проблем применения нейронных сетей и машинного обучения в обработке изображений является обучение нейронной сети на малом количестве данных. Эта проблема может быть решена путем использования аугментации данных, transfer learning и других методов, которые позволяют эффективно использовать имеющиеся ограниченные ресурсы.

Еще одной проблемой является интерпретируемость результатов моделей глубокого обучения. Хотя глубокие нейронные сети являются одними из самых эффективных инструментов для обработки изображений, их результаты могут быть сложны для интерпретации и объяснения. Большие модели с миллионами параметров не всегда дают понятные и понятные решения [2]. Для решения этой проблемы разрабатываются методы визуализации и интерпретации нейронных сетей, которые позволяют более ясно понимать, как именно работает модель и почему она принимает определенные решения.

Применение нейронных сетей и машинного обучения в обработке изображений предлагает множество перспектив и возможностей для улучшения различных областей, включая автоматическую обработку фотографий и анализ медицинских изображений. Потенциальные направления работы включают повышение интерпретируемости моделей, решение неоднозначностей в их функционировании, обеспечение эффективности и надежности алгоритмов обработки изображений, а также улучшение безопасности и защиты данных. Путем продолжения исследований и разработки новых методов мы можем внести вклад в развитие этой области и создать более эффективные и интерпретируемые алгоритмы обработки изображений [3].

### **Список литературы**

1. Тормозов В.С., Золкин А.Л., Василенко К.А. Настройка, обучение и тестирование нейронной сети долгой краткосрочной памяти для задачи распознавания образов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2020. – №.3. – С. 52-57.
2. Колбасов С.Ю., Сорокин Р.А. Решение проблемы распознавания образов при помощи сверточных нейронных сетей // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2019). – 2019. – С. 111-114.
3. Хрипунов Д.Д. Методы машинного обучения в анализе медицинских изображений. история и обзор актуальных проблем // Научные исследования 2023: актуальные теории и концепции: сборник материалов ХХІХ-ой международной очно-заочной научно-практической конференции, в 4 т., Том 3, 24 мая, 2023–Москва: Издательство НИЦ «Империya», 2023.–148с. – 2023. – С. 141.

## РАЗРАБОТКА САЙТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ОЧЕРЕДЬЮ В МИГРАЦИОННОЙ СЛУЖБЕ

*Кулеш Я.С., Григорьев С.В.*, канд. техн. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*kulesh.yana14356@yandex.com*  
*s.grigorev@donnu.ru*

Ежедневно в отделение миграционной службы (МС) приходит большое количество людей по различным вопросам. Несомненно, скапливаются большие живые очереди, что усложняет работу сотрудникам и доставляет дискомфорт гражданам, забирая их время.

Система позволит клиентам записываться в электронную очередь онлайн, что упростит процесс их обращения и уменьшит очереди в офисах миграционной службы. Администраторы смогут мониторить текущую ситуацию и предсказывать нагрузку. Так же сайт поможет в управлении и принятии решений, так как система сможет генерировать отчеты о загрузке, эффективности обслуживания и других ключевых показателях. Из этого вытекает актуальность работы: увеличение пропускной способности и повышение эффективности работы МС ДНР.

Цель работы заключается в разработке сайта для автоматизации управления электронной очередью отделения миграционной службы. Для этого требуется определить оптимальный план пропускной способности отделов МС МВД, разработать математическую модель для реализации и использовать инструменты для мониторинга производительности сайта и сбора аналитических данных для дальнейшей оптимизации.

Для решения поставленных задач было выделено два способа (две подзадачи) – перенаправить потоки людей в МС по другим городам и районам, и разбить очередь на две: получение паспорта впервые и замена его.

Для этого предлагается использовать систему массового обслуживания [1] и линейное программирование, в частности, задачу о назначениях [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**2].

В данном проекте будет реализовано так же обеспечение доступа к информации о текущей очереди и ожидаемом времени обслуживания через веб-платформу; внедрение автоматизированных систем для управления приемом заявок, распределения ресурсов и уведомления клиентов о статусе их обращений; мобильная адаптивность, чтобы клиенты могли управлять своей электронной очередью с помощью смартфонов и планшетов.

Для создания удобного пользовательского интерфейса будет использоваться HTML, CSS, JavaScript и фреймворк. HTML представляет собой язык разметки, который используется для создания веб-страниц. HTML создает содержимое веб-страницы и используется для изменения шрифтов и размера текста, а также для добавления ссылок и изображений [3]. CSS взаимодействует с браузером, чтобы придать документу оформление. JavaScript используется для создания интерактивности на веб-страницах. Фреймворк предоставляет разработчику основу, на которой можно строить приложение, а также структуру и правила. В качестве фреймворка будет использоваться Flask.

В качестве языка программирования выбран Python, так как это отличный язык для создания веб-приложений, взаимодействия с базой данных и бэкенд-разработки [4].

Для создания сайта потребуется база данных SQL, чтобы хранить и управлять информацией, которую необходимо представить на сайте. С помощью SQL можно осуществлять различные операции с информацией с помощью запросов, включая добавление, изменение и удаление записей, а также создание и модификацию таблиц, и прочие операции [5].

Планируется, что использование электронных очередей и теории массового обслуживания упорядочит работу сотрудников МС, что, как следствие, увеличит их работоспособность; позволит ускорить процесс получения необходимого документа; сократится время ожидания приема и обработки документов, что обеспечит комфорт граждан.

### Список литературы

1. Вантцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е.С. Вантцель – М.: Московское радио, 1974. – 203 с.
2. Зайцев М.Г. Методы оптимизации управления и принятия решений: примеры, задачи, кейсы / М.Г. Зайцев, С.Е. Варюхин, С.Р. Филонович. – М.: Дело, 2008. – 664 с.
3. 6 лучших интерфейсных (front-end) языков программирования. – Текст : электронный // URL: <https://bestprogrammer.ru/izuchenie/6-luchshih-interfeysnyh-front-end-yazykov-programmirovaniya>
4. Языки программирования и технологии для веб-разработки.–Текст : электронный // URL: <https://php.zone/post/yazyki-programmirovaniya-dlya-veb-razrabotki?ysclid=lmxzif8q9v73486612>
5. Базы данных и начало работы с SQL.–Текст : электронный. – URL: <https://habr.com/ru/companies/first/articles/755832/>

## НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕКОНТРАСТНОСТИ В РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЯХ РЕЛАКСАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Павлыш В.Н.*<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
*Номбре С.Б.*<sup>2,3</sup>, канд. физ.-мат. наук, доц.,  
*Сторожев С.В.*<sup>2,3</sup>, д-р техн. наук, доц.

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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
г. Макеевка, РФ

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*s.v.storozhev@donnasa.ru*

**Введение.** Одним из ключевых направлений в разработке методов обеспечения безопасности при реализации перспективных высокоэнергетических импульсных технологий является теоретико-экспериментальный анализ проблемы использования в этих целях газонаполненных релаксационных систем [1]. При этом подходы, создаваемые для теоретического исследования комплекса расчетных математических моделей функционирования различных типов таких систем, должны учитывать крайне высокую степень их параметрической неопределенности, обусловленную разбросами данных экспериментальных измерений для исходных характеристик и вариацией оценок для их величин, формируемых на основе субъективных экспертных заключений [2–5]. Применение для решения данной задачи методов вероятностного анализа во многих случаях затруднено отсутствием соответствующих баз исходных данных, отвечающих требованиям к корректной статистической информации [2–5]. Соответственно, одним из возможных альтернативных путей решения проблемы учета параметрической неопределенности в расчетных алгоритмах рассматриваемой природы является использование методов теории нечетких множеств [6–7]. В данном контексте, целью настоящей работы является описание методики применения аппарата теории нечетких вычислений для учета эффектов параметрической неопределенности в некоторых расчетных моделях, связанных с проектированием газонаполненных релаксационных систем для импульсных технологий.

**Нечетко-множественный анализ акустических характеристик релаксационных систем.** Концептуальными элементами предлагаемого подхода является введение нечетко-множественных представлений для неконтрастных исходных параметров расчетных алгоритмов на основе фазификации массивов экспериментальных либо экспертных данных о параметрах с разбросами значений и последующий переход к обобщенным

нечетко-множественным аргументам в расчетных соотношениях детерминистических версий соответствующих моделей с применением модифицированной  $\alpha$ -уровневой версии эвристического принципа расширения [6–7]. Так, в качестве элемента исследования вопроса о повышении сжимаемости жидкости, достигаемой за счет ее капсуляции в эластичной оболочке, в работе [1] подлежит детальному анализу аналитическая параметрическая зависимость между фазовой скоростью  $\vartheta$  акустической волны в протяженной податливой непроницаемой цилиндрической оболочке с газожидкостным заполнением и объемной долей пузырьков газа в заполняющей среде. В рамках детерминистической версии этой модели анализируемая зависимость описывается соотношением

$$\vartheta = \Phi(\beta, \rho_f, \rho_g, \eta, R, P_0, C_f, E, \delta) = ((\beta\rho_g + (1-\beta)\rho_f)^{-1}(\beta P_0^{-1} + (1-\beta)\rho_f^{-1}C_f^{-2} + 2\eta RE^{-1}\delta^{-1})^{-1})^{1/2}, \quad (1)$$

в котором  $\rho_g$  и  $\beta$  – соответственно плотность газа и объемная доля его пузырьков в жидкости с плотностью  $\rho_f$ ;  $\eta$  – коэффициент, отвечающий типу закрепления концов оболочки;  $R$ ,  $\delta$  и  $E$  – соответственно радиус, толщина стенки и модуль Юнга материала оболочки;  $P_0$  – давление в газожидкостной среде;  $C_f$  – скорость звука в рассматриваемой несжимаемой жидкости.

Учет фактора параметрической неконтрастности исходных характеристик рассматриваемой расчетной модели реализуется на основе перехода к нечетко-множественным параметрам  $\tilde{\beta}, \tilde{\rho}_f, \tilde{\rho}_g, \tilde{\eta}, \tilde{R}, \tilde{P}_0, \tilde{C}_f, \tilde{E}, \tilde{\delta}$  путем выбираемого варианта фаззификации экспериментальных либо экспертных данных о разбросах их значений и записи соответствующих представлений в форме суперпозиций по множествам  $\alpha$  – уровня. При описании  $\tilde{\beta}, \tilde{\rho}_f, \tilde{\rho}_g, \tilde{\eta}, \tilde{R}, \tilde{P}_0, \tilde{C}_f, \tilde{E}, \tilde{\delta}$  нормальными нечеткими гауссовыми числами с параметрами  $(m_{*\beta}, \sigma_{*l\beta}, \sigma_{*r\beta}), (m_{*\rho_f}, \sigma_{*l\rho_f}, \sigma_{*r\rho_f}), \dots, (m_{*\delta}, \sigma_{*l\delta}, \sigma_{*r\delta})$  их представления имеют форму

$$\begin{aligned} \tilde{\beta} &= \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\beta}_\alpha, \bar{\beta}_\alpha], \quad \underline{\beta}_\alpha = m_{*\beta} - \sigma_{*l\beta} (\ln \alpha^{-2})^{1/2}, \quad \bar{\beta}_\alpha = m_{*\beta} + \sigma_{*r\beta} (\ln \alpha^{-2})^{1/2}; \quad (2) \\ \tilde{\rho}_f &= \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\rho}_{f\alpha}, \bar{\rho}_{f\alpha}], \quad \underline{\rho}_{f\alpha} = m_{*\rho_f} - \sigma_{*l\rho_f} (\ln \alpha^{-2})^{1/2}, \quad \bar{\rho}_{f\alpha} = m_{*\rho_f} + \sigma_{*r\rho_f} (\ln \alpha^{-2})^{1/2}; \dots; \\ \tilde{\delta} &= \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\delta}_\alpha, \bar{\delta}_\alpha], \quad \underline{\delta}_\alpha = m_{*\delta} - \sigma_{*l\delta} (\ln \alpha^{-2})^{1/2}, \quad \bar{\delta}_\alpha = m_{*\delta} + \sigma_{*r\delta} (\ln \alpha^{-2})^{1/2}. \end{aligned}$$

При дальнейшем введении для неконтрастного результирующего параметра модели  $\tilde{\vartheta}$  представления в виде суперпозиции по множествам  $\alpha$  – уровня

$$\tilde{\vartheta} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{\vartheta}_\alpha, \bar{\vartheta}_\alpha], \quad (3)$$

а также с учетом выполняющихся во всей области совокупного изменения аргументов функциональной зависимости (1) свойств

$$\begin{aligned} \partial\Phi/\partial\beta < 0, \quad \partial\Phi/\partial\rho_g < 0, \quad \partial\Phi/\partial\eta < 0, \quad \partial\Phi/\partial R < 0, \\ \partial\Phi/\partial P_0 > 0, \quad \partial\Phi/\partial C_f > 0, \quad \partial\Phi/\partial E > 0, \quad \partial\Phi/\partial\delta > 0, \end{aligned} \quad (4)$$

на основе модифицированного принципа расширения для границ интервалов  $\alpha$  – уровней в представлении (3) записываются итоговые соотношения

$$\underline{g}_\alpha = \inf_{\rho_f \in [\underline{\rho}_{fa}, \bar{\rho}_{fa}]} \Phi(\underline{\beta}_\alpha, \rho_f, \bar{\rho}_{g\alpha}, \bar{\eta}_\alpha, \bar{R}_\alpha, \underline{P}_{0\alpha}, \underline{C}_{fa}, \underline{E}_\alpha, \underline{\delta}_\alpha), \quad \bar{g}_\alpha = \sup_{\rho_f \in [\underline{\rho}_{fa}, \bar{\rho}_{fa}]} \Phi(\underline{\beta}_\alpha, \rho_f, \underline{\rho}_{g\alpha}, \underline{\eta}_\alpha, \underline{R}_\alpha, \bar{P}_{0\alpha}, \bar{C}_{fa}, \bar{E}_\alpha, \bar{\delta}_\alpha).$$

**Учет неконтрастности параметров в модели расчета перепада давления при отражении ударных волн от жесткой границы в двухфазной среде.** Важной расчетной характеристикой в проектировании релаксационных систем для импульсных технологий является также оценка перепада давления, возникающая при отражении ударных волн, генерируемых в двухфазных газожидкостных средах, от жестких препятствий. В качестве базового расчетного соотношения в этом случае используется зависимость вида [1]

$$P_2 = F(\beta, P_0, P_1, C_f, C_l) = P_1 + C_f(P_1 - P_0)(C_l(1 - \beta))^{-1}, \quad (5)$$

в которой  $P_0$  – начальное давление в двухфазной среде;  $P_1$  – давление в падающей ударной волне;  $P_2$  – давление за отраженной волной;  $C_l$  – скорость ударной волны;  $C_f$  – скорость акустической волны в жидкостной компоненте смеси;  $\beta$  – объемная доля пузырьков газа в жидкости. При переходе к нечетко-множественному описанию неконтрастных аргументов расчетного соотношения (5) с представлениями, аналогичными по структуре соотношениям (2), а также при учете свойств

$$\partial F / \partial \beta > 0, \quad \partial F / \partial P_0 < 0, \quad \partial F / \partial P_1 > 0, \quad \partial F / \partial C_f > 0, \quad \partial F / \partial C_l < 0, \quad (6)$$

для неконтрастного результирующего параметра  $\tilde{P}_2$  рассматриваемой расчетной модели может быть записано выражение

$$\tilde{P}_2 = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [P_{2\alpha}, \bar{P}_{2\alpha}], \quad P_{2\alpha} = F(\underline{\beta}_\alpha, \bar{P}_{0\alpha}, \underline{P}_{1\alpha}, \underline{C}_{fa}, \bar{C}_{la}), \quad \bar{P}_{2\alpha} = F(\bar{\beta}_\alpha, \underline{P}_{0\alpha}, \bar{P}_{1\alpha}, \bar{C}_{fa}, \underline{C}_{la}). \quad (7)$$

*Исследования проводились в ФГБОУ ВО «ДонГУ» в рамках государственного задания (№ госрегистрации 1023030100040-4-1.1.2;2.3.1).*

### Список литературы

1. Сильников, М. В. Применение релаксационных систем для обеспечения безопасности / М. В. Сильников // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2019. – Т. 25, № 3. – С. 71–85. DOI: 10.18721/JEST.25305
2. Донцов, В. Е. Распространение ударных волн в пористой среде, насыщенной жидкостью с пузырьками растворимого газа / В. Е. Донцов, В. Е. Накоряков // ЖПМТФ. – 2000. – Т. 41, №5. – С. 91–102.
3. Кедринский, В. К. Гидродинамика взрыва. Эксперимент и модели / В. К. Кедринский. – Новосибирск: СО РАН, 2000. – 434 с.
4. Гельфанд, Б. Е. Барометрическое действие взрывов / Б. Е. Гельфанд, М. В. Сильников. – СПб.: Астерион, 2006. – 657 с.

5. Гельфанд, Б. Е. Фугасное действие взрывов / Б. Е. Гельфанд, М. В. Сильников. – СПб.: Астерион, 2007. – 250 с.
6. 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.
7. Hanss, M. Applied Fuzzy Arithmetic. An introduction with Engineering Application / M. Hanss. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. – 253 p.

УДК 519.157

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА НА ТОЧНОСТЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЁРА

*Палинчак Н.Ф.*, канд. физ.-мат. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, РФ  
*n.palinchak@yandex.ru*

**Введение.** Задача коммивояжера – это одна из самых известных задач дискретной оптимизации. Суть ее заключается в следующем: имеются  $n$  объектов, нужно посетить каждый из них ровно один раз и вернуться в первоначальный пункт в кратчайший срок и с наименьшими затратами. Для решения этой задачи существует множество разнообразных методов. Метод прямого перебора заключается в выборе оптимального маршрута из всех возможных маршрутов. Это точный метод, он довольно прост в исполнении, но при большом количестве объектов становится неэффективным вследствие больших временных затрат. В некоторых методах тем или иным способом полный перебор заменяют частичным перебором (метод ветвей и границ, динамическое программирование, случайный перебор). Одним из интересных приближенных методов считается алгоритм оптимизации подражанием муравьиной колонии [1].

**Основная часть.** Первый муравьиный алгоритм был представлен в докторской диссертации М. Дориго в 1991 году. Несколько лет спустя им же в соавторстве с другими учеными в международном журнале была опубликована первая статья по муравьиным алгоритмам [2].

За одну итерацию каждый из  $m$  муравьёв прокладывает свой маршрут. После окончания маршрута  $k$ -ый муравей откладывает на ребрах, входящих в маршрут, некоторое количество феромонов. На произвольном ребре  $(i, j)$  после завершения итерации  $t$   $k$ -ый муравей откладывает количество феромонов, равное

$$\Delta\tau_{ijk}(t) = \begin{cases} \frac{H}{L_k(t)}, & \text{если } (i, j) \in T_k(t), \\ 0, & \text{если } (i, j) \notin T_k(t), \end{cases}$$

где  $T_k(t)$  – маршрут, пройденный  $k$ -ым муравьём в итерации  $t$ ,

$L_k(t)$  – длина маршрута  $T_k(t)$ ,  
 $H > 0$  – параметр.

От итерации к итерации количество феромонов на ребре  $(i, j)$  изменяется по формуле:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ijk}(t),$$

где  $\rho$  – коэффициент, который подбирается опытным путем,  $0 \leq \rho \leq 1$ .

Назовем видимостью величину

$$\eta_{ij} = \frac{1}{D_{ij}},$$

где  $D_{ij}$  – расстояние между вершинами  $i$  и  $j$ .

Видимость характеризует желание муравья, находящегося в вершине  $i$ , попасть в вершину  $j$ .

Вероятность перехода на итерации  $t$   $k$ -го муравья, находящегося в вершине  $i$ , в вершину  $j$  определяется по формуле:

$$P_{ijk}(t) = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij}(t))^\alpha \cdot (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{s \in J_{ik}} (\tau_{is}(t))^\alpha \cdot (\eta_{is}(t))^\beta}, & \text{если } j \in J_{ik}, \\ 0, & \text{если } j \notin J_{ik}, \end{cases}$$

где  $J_{ik}$  – список вершин, которые  $k$ -ый муравей, находящийся в вершине  $i$ , ещё не посетил.

Параметр  $\alpha \geq 0$  в последней формуле отвечает за влияние интенсивности феромонов на выбор муравья. При  $\alpha = 0$  влияние феромонов не учитывается, выбирается ближайшая вершина как в жадном алгоритме. Параметр  $\beta \geq 0$  отвечает за влияние видимости на выбор муравья. При  $\beta = 0$  расстояния между вершинами не учитываются, переход от вершины к вершине основывается только на концентрации феромонов.

Для эффективной работы алгоритма необходимо подобрать параметры  $\alpha, \beta$  экспериментальным путем. Для проведения эксперимента была взята тестовая задача *Bayes29*. В ней заданы координаты 29 городов Баварии и требуется найти оптимальный маршрут, который проходит через все эти города. Решение этой задачи известно. Оптимальный маршрут имеет длину 2020. Для каждого набора параметров было проведено 50 запусков муравьиного алгоритма. Число итераций равно 200. Сначала исследовалось влияние параметра  $\alpha$  на точность решения. Значения других параметров были фиксированы ( $\beta = 5, \rho = 0,5$ ). Из таблицы 1 видно, что наилучший результат показало значение  $\alpha = 1$ .

Затем при фиксированных значениях параметров  $\alpha = 1$  и  $\rho = 0,5$  изменяли параметр  $\beta$ . Из таблицы 2 видно, что наилучший результат показало значение  $\beta = 5$ .



Таблица 1

Влияние параметра  $\alpha$ 

Значение $\alpha$	Лучший	Худший	Среднее	Сколько раз найден оптимальный маршрут
0	2068	2211	2140,16	0
0,5	2020	2094	2059,5	1
1	2020	2069	2052,26	8
2	2034	2157	2077,34	0
3	2069	2192	2097,42	0

Таблица 2

Влияние параметра  $\beta$ 

Значение $\beta$	Лучший	Худший	Среднее	Сколько раз найден оптимальный маршрут
0	3975	4643	4282,3	0
0,5	2078	2608	2428,52	0
1	2056	2241	2112,84	0
2	2028	2094	2062,88	0
3	2020	2069	2056,58	1
4	2020	2075	2053,68	5
5	2020	2069	2050,86	8
6	2020	2069	2052,70	4
7	2020	2069	2053,24	4
8	2020	2069	2057,9	3

В другом эксперименте было сгенерировано 10 матриц с координатами 30 городов. Для каждой матрицы для каждого набора параметров было проведено 50 запусков муравьиного алгоритма. Число итераций равно 200. При исследовании параметра  $\alpha$  параметр  $\beta = 5$ , при исследовании параметра  $\beta$  параметр  $\alpha = 1$ . Результаты этого эксперимента аналогичны результатам эксперимента с 29 населенными пунктами Баварии: лучшие результаты были получены при  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 5$ .

**Заключение.** При правильной настройке параметров муравьиного алгоритма можно получать за приемлемое время если не оптимальное решение задачи коммивояжера, то приближенное к оптимальному решение.

### Список литературы

1. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы / С.Д. Штовба // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – № 4. – С. 70–75.
2. Dorigo M. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents / M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colomi // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Part B. – 1996. – V. 26, № 1. – P. 29–41.

## ГРУШЕВИДНЫЕ ОКРУЖНОСТИ ПРЯМЫХ И ОБРАТНЫХ ОПЕРАЦИЙ. МАТЕМАТИКА КАК НЕСТАТИЧНАЯ НАУКА

*Полякова И.С.*

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,  
г. Краснодар, РФ  
*polinga@bk.ru*

**Введение.** Можно графически изобразить прямые и обратные математические операции относительно одной и той же точки и получить «грушевидные» окружности. Можно также определить разброс и направление прямой и обратной операции.

**Основная часть.** Каждой прямой операции можно поставить в соответствие обратную операцию. Например, сложению соответствует обратная операция вычитания, умножению деление, возведению в степень – извлечению корня и наоборот. Мы можем графически изображать прямые и обратные операции, например, для операций сложения и вычитания это будет окружность. Например,  $4+1=5$  или  $4a1=5$  и  $4-1=3$  или  $4b1=4$ , то это окружность с центром в точке 4 и радиусом 1, то есть  $(4; 1)$ . Места, где эта точка пересекает числовую прямую, соответствуют результатам соответственного сложения и вычитания, точка 5 соответствует сложению  $(4+1)$ , а точка 3 – вычитанию  $(4-1)$ . Эту окружность можно задать формулой  $(x-4)^2=1$  [1; 2]. Прямая и обратная операции сложения и вычитания равны и этим операциям соответствуют равные окружности.

Можно графически изобразить и другие операции, например, умножение и деление. Умножению и делению уже будет соответствовать некоторая «грушевидная» окружность. Например,  $4*2=8$  или  $(4c2=8)$  и  $4:2=2$  или  $(4d2=2)$ , пусть это будет некоторая грушевидная окружностью с центром в точке 4 и радиусом 2, то есть  $(4; 2)$  (рис. 1).

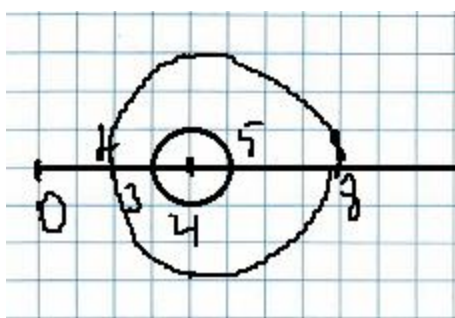


Рис. 1. «Грушевидные» окружности» операции сложение/вычитание  $a(4; 2)$ ,  
множение/деление  $c(4; 2)$

Данный рисунок позволяет оценить величину и направление прямой и обратной операции умножения/деления и сложения/вычитания и изобразить их окружности, равную  $a(4; 2)$  и грушевидную  $c(4; 2)$ . Места,

где эта точка пересекает числовую прямую, соответствуют результатам соответственного умножения и деления, точка 8 соответствует умножению ( $4 \cdot 2$ ), а точка 2 – делению ( $4 : 2$ ). Так умножение и деление можно изобразить подобием окружности с центром в точке 4, большей справа и меньшей слева. Большая окружность справа будет соответствовать умножению, а меньшая окружность слева – делению на одно и то же число. Это можно записать по аналогии, например,  $s(4; 2)$ , где  $s$  – это операция умножения. Тогда для равной окружности умножения будет  $a(4; 2)$ , где  $a$  – это операция сложения. Также грушевидные окружности получаются при операциях возведения в степень и обратной ей извлечению корня (число, показатель корня). Приведем пример:  $9^2=81$  ( $9f2=81$ ) и обратная ей  $\sqrt{9} = 3$  ( $9q2=3$ ). Эту операцию тоже можно изобразить грушевидной окружностью  $f(9; 2)$ . Рассмотрим теперь логарифмирование/извлечение корня из числа (показатель корня, число) на примере  $\log_2 32=5$  ( $2\ell 32$ ),  $\sqrt[3]{32} \approx 5.7$  ( $2h32$ ). Эти операции сложно изобразить окружностью, их можно изобразить дугами. Тогда дуги можно записать  $\ell(2, 32)$ . При этом размах прямой и обратной операции сложения и вычитания одинаковый, а операции сами равны друг другу и противоположно направлены. Но размах логарифмирования и извлечения корня (показатель корня, число) соизмеримы и направлены в одну сторону. Размах умножения и деления относительно центра окружности очень большой и эти операции являются разнонаправленными. Операции возведения в степень/извлечение корня (число, показатель корня) также являются разнонаправленными, с очень большим размахом. То есть мы можем задавать графически прямые и обратные, и им будут соответствовать «грушевидные» окружности  $(N; R)$ , где  $N$  – это центр такой окружности, а  $R$  – это размах прямой и обратной операции. Такие грушевидные окружности показывают разброс прямой и обратной операции [4].

Математика в том смысле, в котором мы к ней привыкли, является статичной наукой. Ее законы неизменны и одинаково работают на всех множествах и для всех чисел, они одинаково применимы к разным фигурам. Мы не можем себе представить, что к разным фигурам можно применять разные формулы и разные законы могут работать на разных множествах. Например, знакопеременные ряды и их сходимости показывают абсурдность чередования степеней отрицательных чисел. Но вычисления в который раз подтверждают, что «минус на минус будет плюс». Возникает противоречие – с одной стороны степени не могут чередоваться, при накоплении отрицательной степени мы через раз получаем положительное число. Но с другой стороны элементарные практические вычисления подтверждают обратное, «минус на минус будет плюс». Тогда, чтобы решить это противоречие, нужно применять разные законы математики на разных множествах, на отрицательном одни, на смежном – другие. Чтобы понять, что минус на минус будет минус на

множестве отрицательных чисел нам не хватало нового взгляда на математику как на нестатичную науку, законы которой могут меняться со временем, законы которой изменяются и варьируются в зависимости от того, на каком множестве мы работаем и к каким фигурам применяем. Математика – развивающаяся наука, как статистика (рис. 2).

Минус на минус минус	Минус на минус плюс	Плюс на плюс плюс
Множество отрицательных чисел	Смежное множество	Множество положительных чисел

Рис. 2. Знаки умножения для разных множеств

Таким образом, мы по-разному умножаем отрицательные числа на разных множествах. Математика не является такой точной и однозначной наукой, как кажется [3, 5]. Мы не стремимся прийти к однозначности в математике. В том числе в формуле вычисления объема четырехугольной пирамиды.  $V=1/2 S_{осн} \cdot h$ , что подтверждают измерения, так как квадрат имеет наибольшую площадь из всех четырехугольников. Четырехугольная пирамида, по сути, состоит из множества правильных квадратов, каждый последующий меньше предыдущего. Фигура, составленная из фигур, имеющих наибольшую площадь, будет иметь наибольший объем. Максимальный объем из пирамид будет иметь пирамида, в основании которой квадрат. То есть можно применять разные формулы объемов к разным фигурам, главное, чтобы вычисления сходились с реальным объемом. Коэффициент  $1/3$  и  $1/2$  отличаются незначительно и разница видна на больших объемах, например, египетских пирамидах.

**Заключение.** Таким образом, можно графически задавать прямые и обратные операции в виде «грушевидных» окружностей. Математика не является статичной наукой, ее законы претерпевают изменения, разные формулы применимы для разных фигур и разных множеств.

### Список литературы

1. Выгодский М. Я. Справочник по элементарной математике. – М.: АСТ, 2009. – 511 с. – ISBN: 978-5-17-053832-4.
2. Кириллов А. А. Что такое число?. – М., 1993. – 80 с. – ISBN 5-02-014942-3.
3. Глазков Ю. А., Варшавский И. К., Гаиашвили М. Я. Комплексные числа. 9–11 классы. – М.: Экзамен, 2012. – 157 с. – ISBN 978-5-377-03467-4.
4. Полякова И.С. Графические окружности прямых и обратных операций. Решение квадратных уравнений с отрицательным дискриминантом // Тенденции развития науки и образования, №96, Самара, 2023. ч.8. – С.148-151. – DOI: 10.18411/trnio-04-2023-434.
5. Полякова И.С. Умножение чисел разных знаков. Теория переходов через ноль // Тенденции развития науки и образования, №92, Самара, 2022. ч.12. – С.8-10. – DOI: 10.18411/trnio-12-2022-539.

## РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩЕГО ПРИЛОЖЕНИЯ «ЯЗЫК SQL В СУБД MS SQL SERVER»

*Седых М.О., Шевцова Е.В., Блохин С.В.*

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*max\_se@bk.ru*

Получить дистанционно какие-либо знания сегодня может практически каждый, и огромное количество людей пользуется данным шансом, используя онлайн-занятия и некоторые их преимущества перед традиционным вариантом.

Проектированию системы предшествовал обзор имеющихся онлайн-платформ по тематике исследования.

Возможностей внедрения данного проекта может быть множество. Приложение могут использовать простые пользователи интернета для обучения по определённой дисциплине, также оно может быть использовано в учебных заведениях для обучения и контроля знаний обучающегося по определённой тематике.

Функционал приложения состоит в автоматизации процесса подачи теоретического материала и проверки качества его усвоения обучающимися с помощью тестовых заданий, заданий с открытым вариантом ответа, и практических заданий, в которых у пользователей будет возможность применить теоретические знания, полученные ранее на практике. Обучающийся будет способен просматривать свои оценки по пройденным заданиям в журнале, в его личном профиле.

У данного проекта есть возможности расширения и обновления в виде создания продуманных технически практических заданий, алгоритма рекомендаций учащимся после окончания какого-либо раздела курса. Преподаватели смогут взаимодействовать с аккаунтами учащихся и смогут создавать свои курсы, использующие алгоритм оценивания заданий.

Для разработки данного приложения использованы технологии: С#, HTML, CSS, Bootstrap, JavaScript и фреймворк JavaScript – JQuery, С# ASP.NET и СУБД MS SQL Server и структура проектирования MVC (Model-View-Controller).

### Список литературы

1. Программирование с помощью Transact-SQL | Microsoft Learn: [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/training/paths/program-transact-sql/>. (Дата обращения: 18.04.2023).
2. Ицик Бен-Ган «Microsoft SQL Server 2012. Основы T-SQL». – Москва: Эксмо, 2015, – 13 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ КВАНТОВОЙ ТОЧКИ

*Сосницкая Н.Л.*, д-р пед. наук, проф.,

*Халанчук Л.В.*, канд. физ.-мат. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», г. Мелитополь, РФ

*larisavh2201@yandex.ru*

**Введение.** В элементной базе современных информационных технологий (мониторы, лазеры, сенсоры, солнечные панели) используются квантовые точки с предельно малыми размерами [1]. Учитывая трудоемкость создания реальных моделей, разработка математических моделей различных квантовых точек, позволяющего определить собственные значения энергии, является актуальной задачей. Результаты исследования влияния формы и параметров квантовой точки на энергетический спектр состояния электрона можно использовать в разработке технологий получения и применения квантовых точек. Ранее было проведено исследование состояния электрона в конической [2] и пирамидальной квантовой точке [3].

**Основная часть.** Рассмотрим простейшую модель призматической квантовой точки. Стационарное уравнение Шредингера для электрона в ядре имеет вид:

$$\Delta\psi + k^2 \cdot \psi(x, y, z) = 0 ,$$

где волновое число для ядра выражается формулой

$$k = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} ,$$

а для оболочки получим уравнение

$$\Delta\psi - k^2 \cdot \psi(x, y, z) = 0 ,$$

и волновое число

$$k = \frac{\sqrt{2m(U_0 - E)}}{\hbar} .$$

Решение дифференциального уравнения Шредингера ищем с применением метода Фурье разделения переменных. В этом случае можно рассмотреть несколько случаев горизонтального сечения призматической квантовой точки для волновой функции, а именно:

выражение для четной волновой функции

$$\psi(-x) = \psi(x) = \cos(k \cdot x) ,$$

для нечетной

$$\psi(-x) = -\psi(x) = \sin(k \cdot x) .$$

При этом для оболочки волновая функция принимает общий вид

$$\psi(x, y, z) = B \cdot e^{-kx} .$$

Учитывая требования непрерывности и гладкости на границе ядра и оболочки, численно решаются уравнения совместимости волновых функций для ядра и для оболочки квантовой точки. Метод итераций и последующее графическое представление решения полученных уравнений проводится в пакете программ Scilab. Например, графическое представление решения подобного уравнения для нечетной функции показано на рис. 1.

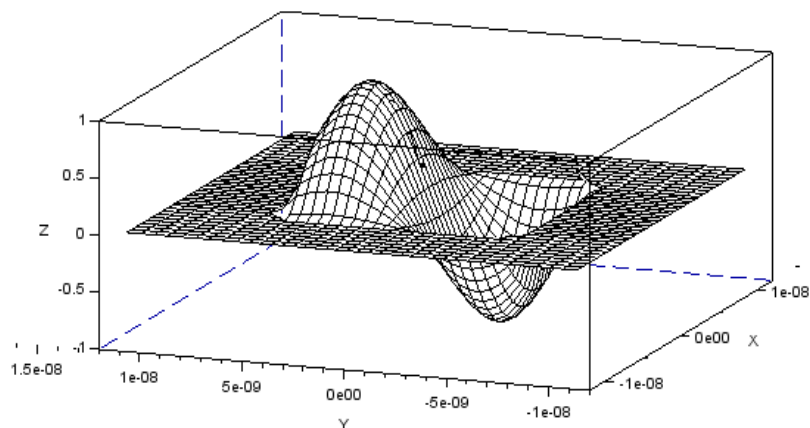


Рис. 1. График нечетной волновой функции

В этом случае нечетной волновой функции (рис. 1.) легко построить график плотности вероятности нахождения электрона в заданной области квантовой точки (рис. 2).

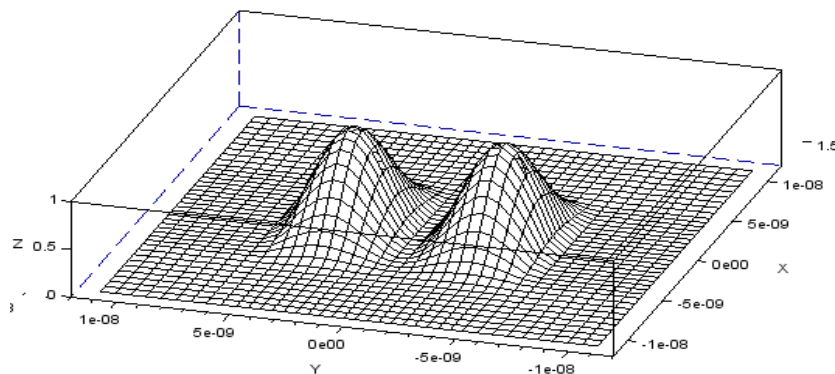


Рис. 2. График плотности вероятности нахождения электрона в заданной области призматической квантовой точки для нечетной волновой функции

В случае четной волновой функции также легко построить график плотности вероятности нахождения электрона в заданной области призматической квантовой точки (рис. 3).

Исследуя полученные графики плотности вероятности (рис. 2, рис. 3) для случая нечетной и четной волновой функции, можно сделать вывод, что получена зависимость состояния электрона от параметров квантовой точки, а также от вида волновой функции.

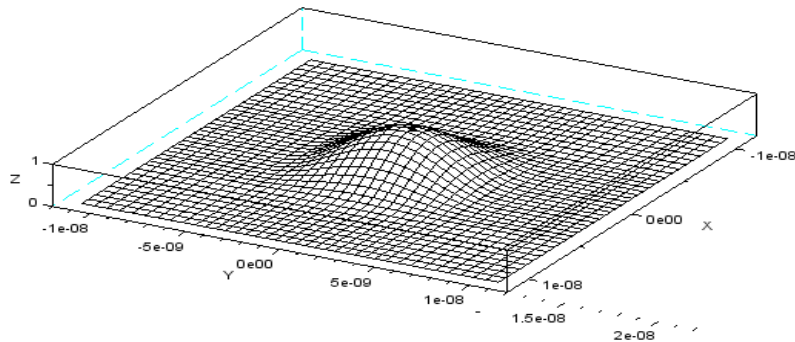


Рис. 3. График плотности вероятности нахождения электрона в заданной области призматической квантовой точки для четной волновой функции

**Заключение.** Таким образом, было рассмотрено математическое моделирование решения уравнения Шредингера для стационарного состояния электронов в призматической квантовой точке с оболочкой. При помощи структурированных дискретных моделей (сеток) построены графики распределения вероятности нахождения электрона в заданной области квантовой точки. В дальнейшем результаты математического моделирования можно использовать для оптимизации параметров призматических квантовых точек, технологии их получения и применения. Результаты математического моделирования состояния электрона в квантовых точках используются для методического обеспечения лабораторного практикума дисциплины «Физическое и математическое обеспечение магистерских программ» специальности 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

### Список литературы

1. Грибачев, В. Методы получения и применения квантовых точек / В. Грибачев // Компоненты и технологии. – 2009. – № 9(98). – С. 127-130. – EDN MTFXIR.
2. Modelling the Electromagnetic Processes and Phenomena in Quantum-Sized Systems in the Course of Physical and Mathematical Support of Master's Programs for the 'Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics Specialty' / N. Sosnickaya, M. Morozov, L. Khalanchuk, H. Onyshchenko // Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2019, Kremenchuk, 23–25 сентября 2019 года. – Kremenchuk, 2019. – P. 402-405. – DOI 10.1109/MEES.2019.8896623. – EDN NOQVEZ.
3. Modeling of Solar Cells with Quantum Dots GaN / N. Sosnytska, A. Dyadenchuk, M. Morozov, L. Khalanchuk // Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2021 : 20, Kremenchuk, 21–24 сентября 2021 года. – Kremenchuk, 2021. – DOI 10.1109/MEES52427.2021.9598662. – EDN TQIGX.



## ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ КРИПТОСИСТЕМ

*Рыбалко Л.А., Холодов Д.Ю.*

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*l.rybalko@donnu.ru, dmitry.holod.05@gmail.com*

В работе решается проблема аутентификации данных. Электронная цифровая подпись (ЭЦП) нашла широкое применение в различных сферах человеческой деятельности. Технология выработки ЭЦП очень актуальна в современном мире и, как правило, основывается на базе асимметричных алгоритмов, использующих открытый и закрытый ключи.

Для решения поставленной задачи рассмотрены не только асимметричные, но и симметричные криптосистемы.

Так при использовании симметричных криптосистем существует алгоритм, предложенный У. Диффи и М. Хеллманом [1], при котором подписывается каждый бит документа или его хэш-значения. При этом для подписи одного блока длиной 64 бита необходимо выработать около семи килобайт информации. Поэтому симметричные криптосистемы не получили распространения для построения ЭЦП.

После этого отдается предпочтение асимметричным криптосистемам шифрования, на базе которых будут реализованы ЭЦП, в связи с тем, что они имеют более высокую криптостойкость и уступают симметричным криптосистемам только по скорости передачи данных.

Любое письмо, документ или файл выбранного типа, имеющие юридическую значимость, заверяются автором путем подписания электронной подписью. Подобное действие обычно преследует две цели. Во-первых, получатель имеет возможность убедиться в истинности письма, сличив подпись с имеющимся у него образцом. Во-вторых, личная подпись является юридическим гарантом авторства документа.

Существует два класса схем цифровой подписи:

- Схема цифровой подписи с приложением;
- Схема цифровой подписи с восстановлением сообщений.

Схема цифровой подписи с приложением требует оригинального сообщения в качестве входных данных для алгоритма проверки. Схемы цифровой подписи с восстановлением сообщений не требуют исходное сообщение в качестве входных данных для алгоритма проверки.

Задачи, которые выполняет ЭЦП:

1. Аутентификация личности;
2. Контроль целостности;

3. Защита от изменений;
4. Апеллируемость;
5. Подтверждение авторства.

Цифровые подписи с восстановлением сообщений обладают особенностью, заключающейся в том, что сообщение может быть восстановлено из самой подписи. Эти схемы полезны для коротких сообщений.

Большинство схем цифровой подписи с восстановлением сообщений применяются к сообщениям фиксированной длины, в то время как схемы цифровой подписи с приложением применяются к сообщениям произвольной длины.

Любая схема цифровой подписи с восстановлением сообщения может быть преобразована в цифровую схему подписи с приложением путем простого хэширования сообщения, а затем подписания.

Подпись состоит из трех вероятностных полиномиальных алгоритмов:

**Генератор ключей.** Он принимает в качестве входных данных параметр безопасности  $k$  и выводит пару  $(sk, pk)$ , где  $sk$  - секретный ключ пользователя, а  $pk$  - соответствующий открытый ключ.

**Подпись.** Этот алгоритм принимает в качестве входных данных сообщение  $m$  и секретный ключ  $sk$  и создает подпись  $\theta$ .

**Проверка.** Алгоритм проверки принимает в качестве входных данных сообщение  $m$ , подпись  $\theta$  и открытый ключ  $pk$  и возвращает *правда*, если  $\theta$  является действительной подписью  $m$ , и *ложь* в противном случае.

Для большего понимания на рис.1 представлена общая схема ЭЦП.



Рис. 1. Общая схема ЭЦП

Рассмотрим несколько схем цифровой подписи.

**Схема подписи RSA.** Она была первой схемой цифровой подписи с восстановлением сообщений. Схема цифровой подписи RSA является одним из наиболее практичных и универсальных доступных методов.

Пространство сообщения, пространство подписи, и пространство зашифрованного текста для этой схемы принадлежит  $Z_n$ , где  $n = pq$  – произведение двух случайно выбранных простых чисел.

**Схема подписи Фейге-Фиата-Шамира.** Это схема подписи с приложением. Для этой схемы требуется односторонняя хэш-функция. В отличие от схемы подписи RSA, все пользователи используют один и тот же модуль  $n = pq$ . В этом сценарии центру распределения ключей потребуется сгенерировать основные  $p$  и  $q$ , а также секретные и открытый ключ для каждого пользователя.

**Схема подписи Рабина.** В 1979 году Рабин предложил цифровую подпись, безопасность которой основана на сложности нахождения квадратных корней по модулю составного числа. Схема Рабина обеспечивает быструю подпись и проверку, которая требует только одного вычисления принятой односторонней хэш-функции, одно умножение и одно сложение по модулю составного числа  $n$ , где  $n$  – произведение из двух больших простых чисел. Следует учесть, что в схеме Рабина подписывающий не может сгенерировать действительную подпись для некоторых сообщений, если соответствующие им уравнения подписи не разрешимы. Всякий раз, когда уравнение подписи разрешимо, оно имеет четыре решения (квадратные корни). Пользователь в праве выбрать любое из четырех решений и использовать его в качестве подписи сообщения.

Результат работы предполагает разработку программного обеспечения, которое способно создать электронную цифровую подпись на базе современных криптосистем.

### Список литературы

1. Баричев С.Г., Гончаров В.В., Серов Р.Е. Основы современной криптографии. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 120 с.
2. Бернет С., Пэйн С. Криптография. Официальное руководство RSA Security. 2002 год, 384 с.
3. Романец Ю.В., Тимофеев П.А., Шаньгин В.Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях. – Москва, «Радио и связь», 1999 год, 190 с.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ РЕГИСТРАТУРЫ РАЙОННОЙ ПОЛИКЛИНИКИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

*Тимошенко Д.А.*

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*danil.timoshenko.2001@mail.ru*

В настоящее время процесс автоматизации коснулся практически каждого аспекта жизни современного человека. Автоматизация играет ключевую роль в современном мире и оказывает глубокое влияние на все сферы человеческой жизни. Развитие технологий и постоянное совершенствование систем автоматизации приводят к преобразованию процессов, оптимизации ресурсов и повышению эффективности деятельности в различных областях. К сожалению, в сфере медицинских услуг данное направление до сих пор не возымело должного развития при этом современная медицинская система сталкивается с постоянным увеличением нагрузки на регистратуры поликлиник. Пациенты ожидают быстрого доступа к медицинским услугам и эффективного управления записями. Что порождает очереди, которые могут быть крайне критичны в данной сфере.

Для оптимизации и автоматизации процессов регистрации и обслуживания пациентов, возможно применить теорию систем массового обслуживания. Теория массового обслуживания (ТМО) — научная дисциплина, занимающаяся математическим моделированием постоянно повторяющихся однотипных задач в одних и тех же условиях их появления, анализом способов их решения в целях повышения эффективности этих решений. [1] Теория массового обслуживания занимается анализом процессов в системах обслуживания, производства и управления, в которых однородные действия (события) повторяются многократно (предприятия торговли, коммерческие банки, автоматические линии производства, медицинские учреждения, страховые организации, транспортные системы и др.). [2]

применение теории массового обслуживания имеет ряд неоспоримых плюсов для развития методов обслуживания пациентов на этапе их регистрации и дальнейшего лечения.

Автоматизация регистратуры поликлиники при помощи современных информационных систем и технологий, учитывающих теорию массового обслуживания, повлечет за собой сокращение времени ожидания: Системы могут предсказать и управлять потоками пациентов, сокращая время ожидания на регистрацию и прием у врача. Увеличение эффективности регистрации: Автоматизированные системы могут

обрабатывать данные о пациентах быстрее и с меньшей вероятностью ошибок. Улучшение качества обслуживания: Персонал регистратуры может более точно управлять записями, учитывая интенсивность потока пациентов и доступные ресурсы. Снижение нагрузки на персонал: Автоматизация может снизить нагрузку на регистраторов и позволить им более эффективно распределять рабочее время. Легкий доступ к информации: Медицинский персонал может быстро получать доступ к актуальным данным о пациентах, что помогает в принятии более обоснованных медицинских решений. Анализ и оптимизация процессов: Собранные данные могут использоваться для анализа и оптимизации рабочих процессов в регистратуре. Соблюдение нормативных требований: Многие здравоохранительные организации обязаны соблюдать строгие нормативные требования в отношении хранения и обработки медицинской информации. Автоматизация помогает удовлетворить эти требования.

Применение автоматизации работы регистратуры поликлиники с применением теории массового обслуживания имеет некоторые потенциальные минусы, которые следует учитывать. Автоматизация работы регистратуры требует инвестиций в приобретение и установку соответствующего оборудования, программного обеспечения и обучение персонала. Кроме того, высокие технические требования и поддержка системы могут вызывать дополнительные расходы. Внедрение автоматизированной системы регистратуры может потребовать значительных изменений в организационных процессах и рабочих потоках. Обучение персонала и переход от старых методов работы могут занять время и вызвать сопротивление со стороны сотрудников. Неполноценности в программном обеспечении или технические проблемы могут привести к сбоям или ошибкам при регистрации пациентов. Это может вызвать задержки в обслуживании и негативное влияние на качество предоставляемой медицинской помощи. Автоматизация регистратуры поликлиники означает, что часть функций, ранее выполняемых людьми, будет передана машинам. Это может привести к потере персонального общения и индивидуального подхода к пациентам, что может снизить уровень удовлетворенности пациентов и их доверия к медицинскому учреждению. Автоматизированная система регистратуры может иметь ограничения в адаптации к изменяющимся потребностям и требованиям пациентов и медицинского персонала. Это может потребовать дополнительных затрат на модификацию и настройку системы.

Важно отметить, что эти минусы не всегда возникают и могут быть смягчены правильным выбором и внедрением автоматизированной системы регистратуры, а также обучением персонала и обеспечением надлежащей поддержки системы.

Для автоматизации работы регистратуры можно использовать различные технические средства. Электронные очереди: Система

электронных очередей позволяет пациентам зарегистрироваться и получить номер в очереди без необходимости общения с сотрудниками регистратуры. Пациенты могут использовать специальные терминалы самообслуживания или мобильные приложения для регистрации. Это сокращает время ожидания и снижает нагрузку на регистратуру. Системы онлайн-записи: Пациенты могут записываться на прием к врачу через онлайн-сервисы или приложения. Это позволяет избежать необходимости посещения регистратуры лично или звонка по телефону, а также позволяет пациентам выбрать удобное для них время и врача. Системы идентификации и аутентификации: Для обеспечения безопасности данных и контроля доступа к медицинской информации могут использоваться биометрические системы (например, сканеры отпечатков пальцев) или смарт-карты. Автоматизированные системы управления данными: Поликлиники могут использовать специальное программное обеспечение для сбора, хранения и анализа данных о пациентах, записях, приемах и других аспектах работы регистратуры. Это позволяет улучшить эффективность и точность управления данными, а также предоставлять аналитическую информацию для принятия

К настоящему времени разработаны относительно простые математические модели, позволяющие изучать многие внешне различающиеся реально протекающие процессы обслуживания на транспорте, в промышленном производстве, образовании, медицине, военном деле, торговле, телефонии, компьютерных сетях и т.д. Конечная цель развиваемых в ТМО методов состоит в отыскании рациональных структуры и параметров обслуживающей системы, организации обслуживания, обеспечивающих заданное его качество. [3]

Автоматизация работы регистратуры поликлиники с применением теории массового обслуживания способствует более эффективному и качественному обслуживанию пациентов. Это улучшит уровень предоставления услуг и позволит медицинским учреждениям более эффективно управлять своими ресурсами.

### **Список литературы**

1. Плескунов М. А., Теория массового обслуживания: учебное пособие / М. А. Плескунов; М-во науки и высшего образования РФ, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. — 264 с.
2. Солнышкина И. В., Теория систем массового обслуживания: учеб. пособие / И. В. Солнышкина. — Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2015. — 76 с.
3. Романенко В. А., Системы и сети массового обслуживания: учебное пособие / В. А. Романенко. — Самара: Издательство Самарского университета, 2021. — 68 с.: ил.

## АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

*Филонова Е.С.*

ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог, РФ  
*efilonova@sfnedu.ru*

**Введение.** В данной работе рассматриваются вопросы актуальности применения интеллектуальных систем управления освещенностью. Хорошее освещение улучшает видимость, позволяя нам выполнять задачи эффективно и безопасно. На производстве, в различных отраслях промышленности жизненно важны точное восприятие цвета и детальный визуальный осмотр. Эффективные установки освещения, построенные по принципу энергосбережения, способствуют точному контролю продукции, обеспечивая постоянное соблюдение стандартов контроля качества.

**Основная часть.** Современные системы управления освещением предлагают интеллектуальный, взаимосвязанный подход к управлению осветительными приборами. Эти системы востребованы в различных секторах, включая промышленное производство, коммерческие предприятия и частные дома, для внутреннего и внешнего освещения.

Объем мирового рынка интеллектуального освещения оценивается в сумму более 19 млрд долларов США в 2023 году и, по прогнозам, к 2028 году достигнет 49 млрд долларов США; среднегодовой темп роста составит более 17 % в период с 2023 г. по 2028 г.

Технологии Интернета вещей (IoT) используются в интеллектуальных системах освещения для обеспечения автоматизации дистанционного управления. В таких системах используются «умные» осветительные приборы, взаимодействующие друг с другом и иными устройствами [1].

Мировой рынок управления освещением подразделяется на проводной и беспроводной, в зависимости от типа подключения. В 2020 году проводной сегмент доминировал на рынке с существенной долей. В настоящее время набирает популярность применение беспроводных устройств. Рынок переживает рост благодаря нескольким ключевым факторам: появлению интеллектуальных систем управления освещением, растущей востребованности и доступности светодиодов, а также растущему признанию энергосбережения потребителями и правительствами во всем мире.

Наиболее активными странами на рынке интеллектуального управления освещением являются США, Китай, Германия, Япония и

Великобритания. Эти страны продемонстрировали значительные инвестиции, инновации и внедрение новейших технологий в данной области. Одними из ключевых игроков на рынке являются, в частности, Texas Instruments Incorporated, Schneider Electric SE, Philips NV и Infineon Technologies.

Такое активное участие обусловлено быстрым экономическим развитием, процессами глобализации и цифровизации, растущим использованием смартфонов. Согласно прогнозам, рынок «умных» городов в Азиатско-Тихоокеанском регионе также будет быстро расширяться благодаря большому количеству развертываний 5G и инициативам крупных операторов мобильной связи по удовлетворению требований к высокой пропускной способности. Более того, интеграция интеллектуального освещения в экосистемы умного города обеспечивает возможность подключения к устройствам Интернета вещей и облегчает обмен оперативной информацией. Например, интеллектуальные уличные фонари на парковках и дорогах повышают безопасность, обеспечивая широкий охват, мониторинг окружающей среды, данные об управлении парковкой и дорожным движением, а также наблюдение за городом посредством подключений IoT [2].

В городе Москве умные фонари, умеющие регулировать яркость и складываться вдвое, появляются как в центре города, так и на периферии. Планируется установка более 60 тысяч новых осветительных приборов.

В нашей стране компания «Ростелеком» реализует проекты умного освещения более чем в 20 городах и районных центрах юга России. Затраты муниципалитета на уличное освещение снижаются более чем в половину, что позволяет ежегодно экономить около восьми миллионов киловатт-часов электроэнергии. Используя сэкономленные деньги, компания окупает свои инвестиции за семь лет. После этого муниципалитет начинает получать дополнительную экономию. В настоящее время "умное освещение" работает в городах юга России: Азове, Волгодонске, Тимашевске, Кореновске, Новочеркасске, Таганроге, Новороссийске, Шахтах и других городах.

Город Таганрог представлен «Ростелеком» как первый «умный город» Юга России, где внедрен комплекс smart – решений, среди которых "Умное освещение". В каждом районе города есть электрошкаф, в котором размещены все «умные» устройства, отвечающие за управление уличным освещением. В случае возникновения каких-либо проблем система автоматически выявляет и предупреждает оператора о нештатной ситуации, исключая необходимость визуального осмотра специалистами. Кроме того, компьютерная система также предоставляет ценную информацию об основной причине неисправности, что значительно упрощает задачи ремонтной бригады.



### **Примеры известных интеллектуальных систем управления освещением в России:**

- Система управления освещением КУЛОН, установлена на отдельных объектах ПАО «Газпром» (индивидуальное управление работоспособностью каждого светильника по радиоканалу);

- ИнтеРОС» - Интеллектуальная Распределённая Осветительная Система, автоматика управления освещением с распределением управляющих устройств по объекту, с целью минимизации длины и сечения электрического провода. Разработана в России.

- Программный продукт «АСУНО+» компании «НОВАДЭК ДАТАЦЕНТР» вошел в реестр отечественного ПО. «АСУНО+» - современный программный комплекс, обеспечивающий обмен данными и контроль состояния уличных систем освещения. Разработка может быть использована для освещения как локальных объектов, так и целых микрорайонов в крупных городах.

**Заключение.** Технологии IoT (промышленный Интернет вещей) играют решающую роль в создании интеллектуальных систем управления освещением, являются базой для принятия решений на основе данных и расширенной аналитики, повышая эффективность, устойчивость и удобство использования систем управления освещением [3,4].

### **Список литературы**

1. Головин С.В. Интернет вещей: технологии и перспективы применения. // Технический прогресс и эффективность производства. — 2017. — №2. — С. 157-162.
2. Семенова, Н. Г. Интеллектуальная система энергоэффективного управления уличным освещением на основе нейросетевых технологий / Н. Г. Семенова, К. Р. Валиуллин // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. Т. 179, № 4. С. 183 – 188.
3. Заргарян Е.В., Ганциевский А.В. Анализ существующих нейронных сетей и их применение в настоящее время. Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы VII Международной научной конференции, посвящённой 85-летию Донецкого национального университета (Донецк, 27–28 октября 2022 г.). – Том 1: Механикоматематические, компьютерные науки, управление / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2022. – 190 с 159-161
4. Х.С. Аламир, Е.В. Заргарян, Ю.А. Заргарян. Модель прогнозирования транспортного потока на основе нейронных сетей для предсказания трафика на дорогах. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 6 (223). – С. 124-132

## РАСПОЗНАВАНИЕ РУКОПИСНЫХ АРАБСКИХ ЦИФР НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА

*Холодов С.Ю., Шевцов Д.В.*, д-р техн. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*serzh.kholodov.2016@mail.ru*

На сегодняшний день в современном мире активно развивается такая область искусственного интеллекта как нейронные сети. Искусственные нейронные сети (ИНС) постепенно начинают находить применение в повседневной жизни, получая при этом широкое распространение во многих сферах деятельности человека. Так как изучение искусственного интеллекта – направление сравнительно молодое, в библиотеках и в интернете недостаточно информации по этой теме. Множество компаний по всему миру готово инвестировать в развитие искусственного интеллекта. Функционирование любой системы становится намного эффективнее при помощи решения задач на основе нейронных сетей.

Распознавание текста для машины представляет собой сложную проблему. Ранее оно было возможно только благодаря очень нагроможденным функциям и моделям. Но сейчас, вследствие развития сферы информационных технологий, становится возможным упростить, а то и улучшить качество распознавания текста [1]. Система распознавания текста имеет огромное применение на практике и не менее большое количество сложностей. Если стандартное распознавание текста подразумевает хорошее отсканированное изображение, то как решить проблему плохого освещения, ракурса, различных вариаций шрифтов? Данная система относится к теме распознавания образов, которая подразделяется на два основных направления:

- изучение способностей к распознаванию, которыми обладают живые существа;
- развитие теории и методов построения устройств, предназначенных для решения отдельных задач в прикладных целях.

Очевидно, что следует проанализировать направление, касающееся прикладных целей. Для решения этой проблемы применяются искусственные нейронные сети.

В отличие от естественной нейронной сети, ИНС упрощена в тысячи и миллионы раз. Биологические нейроны имеют трёхмерную структуру, тогда как ИНС всего лишь двухмерную. Это сделано потому, что компьютеры просто не в силах обработать такой поток информации ввиду нехватки ресурсов. Стоит отметить, что ИНС обладают функцией самообучения. Нейронная сеть имеет два цикла: обучение и функционирование. Этап

обучения нейронных сетей, в свою очередь, можно разделить на 2 вида: обучение с учителем и обучение без учителя [3].

В основе обучения нейронной сети учителем лежит предоставление ей обучающей выборки, которая будет содержать входные правильные данные. Нейронная сеть будет сравнивать полученный результат с правильным и, исходя из этого, изменять веса нейронов так, чтобы ответ минимально отличался от необходимого. Иными словами, происходит обучение нейронной сети выполнять определенную функцию, при этом регулируя значения (коэффициенты весов) между элементами. Сеть корректируется на основе сравнения, необходимого и полученного результатов.

Обучение без учителя, в отличие от предыдущего, заключается в том, что нейронная сеть получает лишь входные данные. Далее сеть наблюдает и постепенно начинает классифицировать подаваемые данные. Внутри создаются собственные группы, благодаря которым нейронная сеть начинает узнавать и относить данные к той или иной собственной выборке. Именно благодаря самообучению нейронной сети становится возможным распознавать тексты разных сложностей.

Нейронные сети пользуются тем, что входные данные состоят из изображений, и они ограничивают построение сети более разумным путем. Слои нейронных сетей состоят из нейронов, расположенных в 3-х измерениях (ширина, высота, глубина). В отличие от простых нейронных сетей, граничные веса в сети распределяются между различными нейронами в скрытых слоях.

Подытожив выше сказанное, можно сказать, что для качественного распознавания текста применяются многослойные нейронные сети. В них закладывается определенный алгоритм, позволяющий добиться поставленной задачи путем использования различных методов, которые, в свою очередь, составляют полную систему распознавания текста. Многие типы алгоритмов распознавания объектов были применены к различным областям машинного обучения, таким как классификация изображений, анализ настроений и распознавание текста.

### **Список литературы**

1. Барский, А.Б. Логические нейронные сети: Учебное пособие / А.Б.Барский. – М.: Бином, 2013. – 352 с.
2. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. – СПб.: Вильямс, 2003. – 288 с.
3. Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. Искусственные нейронные сети и их приложения. – 184 с.

## T – КВАЗИГРУППЫ. ИХ СВЯЗЬ С $(r, s, t)$ – ИНВЕРСНЫМИ КВАЗИГРУППАМИ

*Шведюк И.Н.*

Государственный университет Молдовы, г. Кишинев, Республика Молдова  
*illusionist.nemo@gmail.com*

**Введение.** Теория квазигрупп и луп является относительно молодой ветвью науки, но при этом быстро развивающейся, так как достижения данного раздела используются в криптографии.

**Целью** данной работы является рассмотрение T – квазигрупп и их связи с  $(r, s, t)$  – инверсными квазигруппами, построение соответствующих примеров.

**Основная часть.** Рассмотрим базовые понятия, связанные с данной темой.

*Определение 1.* Непустое множество  $G$  с заданной на нем бинарной операцией  $*$  называют бинарным группоидом  $(G, *)$ .

*Определение 2.* Пусть  $(Q, *)$  – группоид,  $a \in Q$  – некоторый фиксированный элемент, тогда левая и правая трансляции любого  $x \in G$  определены следующим образом:

$$\begin{aligned} L_a^* x &= a * x \\ R_a^* x &= x * a. \end{aligned}$$

*Определение 3.* Квазигруппа  $(Q, *)$  является  $(r, s, t)$  – инверсной квазигруппой, если существует отображение  $x \rightarrow Jx$  множество  $Q$  в себя такое, что для любых  $x, y \in Q$

$$J^r(x * y) * J^s x = J^t y.$$

*Определение 4.* Квазигруппа  $(Q, *)$  называется T – квазигруппой тогда и только тогда, когда существует абелева группа  $(Q, +)$ , такая, что для любых  $x, y \in Q$

$$x * y = \varphi x + \psi y + a.$$

где  $\varphi$  и  $\psi$  – автоморфизмы  $(Q, +)$ ,  $a \in Q$  – некоторый фиксированный элемент.

*Теорема 1.* T-квазигруппа  $(Q, *)$ , определенная над абелевой группой  $(Q, +)$  при помощи

$$x * y = c + \varphi x + \psi y,$$

является  $(r, s, t)$  – инверсной квазигруппой с заданным отображением  $J = \beta L_b^+$ , где  $\beta \in \text{Aut}(Q, +)$ ,  $L_b^+$  – левая трансляция группы  $(Q, +)$ , заданная элементом  $b \in Q$ , тогда и только тогда, когда:

- 1)  $c + \varphi B_r + \varphi \beta^r c + \psi B_s = B_t$
- 2)  $\psi \beta^s = I_0 \varphi \beta^r \varphi$
- 3)  $\beta^t = \varphi \beta^r \psi$ ,

где  $B_u = \beta b + \beta^2 b + \dots + \beta^u b$  и  $I_0: x + I_0 x = 0$  для любого  $x \in Q$ .

*Следствие 1.* Т-квазигруппа  $(Q, *)$ , определенная над абелевой группой  $(Q, +)$  при помощи  $x * y = c + \varphi x + \psi y$ , является  $(r, s, t)$  - инверсной квазигруппой с заданным отображением  $J = \beta$ , где  $\beta \in \text{Aut}(Q, +)$ , тогда и только тогда, когда

- 1)  $c + \varphi \beta^r c = 0$
- 2)  $\psi \beta^s = I_0 \varphi \beta^r \varphi$
- 3)  $\beta^t = \varphi \beta^r \psi$ .

*Следствие 2.* Т-квазигруппа  $(Q, *)$ , определенная над абелевой группой  $(Q, +)$  при помощи  $x * y = c + \varphi x + \psi y$ , является  $(r, s, t)$  - инверсной квазигруппой с заданным отображением  $J = L_b^+$  тогда и только тогда, когда

- 1)  $\psi = \varphi^{-1}$
- 2)  $\varphi^3 = I_0$
- 3)  $\varphi r b + \psi s b = t b$ .

*Теорема 2.* Т-квазигруппа  $(Z_m, *)$ , определенная над циклической группой  $(Z_m, +)$  соотношением  $x * y = \varphi x + \psi y$ , являющаяся  $(r, s, t)$ -инверсной квазигруппой с заданным отображением  $J = L_b^+$  для некоторого фиксированного  $b \in Z_m$ , может быть одного из двух видов:

- Симметричная квазигруппа вида  $x * y = -x - y$
- Медиальная дистрибутивная квазигруппа вида  $x * y = \varphi x + \varphi^{-1} y$ , где  $\varphi: z \rightarrow hz$ ,  $h$  - корень уравнения  $h^2 - h + 1 = 0$ .

В связи с этим  $r, s, t$  связаны между собой уравнением  $h^2 r + s = ht$ .

С точностью до изоморфизма существует только одна  $(r, s, t)$  - инверсная Т-квазигруппа первого типа для каждого целого положительного  $m$ .

Но  $(r, s, t)$  - инверсные Т-квазигруппы второго типа существуют только если  $m$  – целое положительное число одного из видов:

где  $p_i \equiv 1 \pmod{6}$  для  $i = 1, 2, \dots, u$ .

*Пример.* Возьмем  $m = 14$ .

Решая сравнение  $x^2 \equiv -3 \pmod{14}$ , получаем  $x = 5, x = 9$ .

Тогда  $h^3 = -1$  имеет корни  $h = -1, h = 3, h = 5 \pmod{14}$ .

Учитывая, что  $3^{-1} \equiv 5 \pmod{14}$ ,  $5^{-1} \equiv 3 \pmod{14}$ , получили 3 изоморфно различных Т-квазигруппы, являющихся  $(r, s, t)$  - инверсными с заданным отображением  $J = L_b^+$ .

$$1) (Z_{14}, \circ): x \circ y = -x - y, \quad r + s + t = 0 \text{ (т.к. } h = -1)$$

Действительно,

$$\begin{aligned} J^r(x \circ y) \circ J^s x &= (rb + x \circ y) \circ (sb + x) = \\ &= -(rb - x - y) - (sb + x) = (-r - s)b + y = tb + y = J^t y. \end{aligned}$$

$$2) (Z_{14}, \cdot): x \cdot y = 3x + 5y, \quad s = 3t - 9r \text{ (т.к. } h = 3)$$

Действительно,

$$\begin{aligned} J^r(x \cdot y) \cdot J^s x &= (rb + x \cdot y) \cdot (sb + x) = \\ &= 3(rb + 3x + 5y) + 5(sb + x) = (3r + 5s)b + 14x + 15y = \\ &= (3r + 15t - 45r) + 14x + 15y \equiv tb + y = J^t y. \end{aligned}$$

$$3) (Z_{14}, *): x * y = 5x + 3y, \quad s = 5t - 11r \text{ (т.к. } h = 5)$$

Действительно,

$$\begin{aligned} J^r(x * y) * J^s x &= (rb + x * y) * (sb + x) = \\ &= 5(rb + 5x + 3y) + 3(sb + x) = (5r + 3s)b + 28x + 15y = \\ &= (5r + 15t - 33r) + 28x + 15y \equiv tb + y = J^t y. \end{aligned}$$

*Теорема 3.* В T- квазигруппе с соотношением  $x \cdot y = \varphi x + \psi y$  третье тождество Штейна выполняется тогда и только тогда, когда

$$\varphi^2 + \psi^2 = 0, \quad \varphi\psi y + \psi\varphi y = \varepsilon.$$

*Следствие 3.1.* В медиальной квазигруппе  $(Q, \cdot)$  с соотношением  $x \cdot y = \varphi x + \psi y$  третье тождество Штейна выполняется тогда и только тогда, когда  $\varphi^2 + \psi^2 = 0, 2\varphi\psi = \varepsilon$ .

*Следствие 3.2.* В медиальной квазигруппе  $(Z_n, \cdot)$  с соотношением  $x \cdot y = \varphi x + \psi y$  третье тождество Штейна выполняется тогда и только тогда, когда  $\varphi + \psi - 1 = 0 \pmod{n}$  или  $\varphi + \psi + 1 = 0 \pmod{n}$ .

*Пример.* Рассмотрим  $(Z_n, \cdot), \varphi = 11, \psi = 3$ .

Тогда  $\varphi^2 + \psi^2 = 121 + 0 = 130 = 0 \pmod{13}$ . Значит,  $n = 13$ .

Кроме того,  $2\varphi\psi = 2 \cdot 3 \cdot 11 = 66 = \varepsilon = 1 \pmod{13}$ .

Получили, что  $x \cdot y = 11x + 3y \pmod{13}$ .

Докажем третье тождество Штейна.

$$\begin{aligned} 11(11x + 3y) + 3(11y + 3x) &= 121x + 33y + 33y + 9x = \\ &= 130x + 66y = y \pmod{13}. \end{aligned}$$

## Список литературы

1. Белоусов В.Д. Основы теории квазигрупп и луп. – Москва: Наука, 1967. – 223 с.
2. Keedwell A.D., Shcherbacov V.A. Construction and properties of (r,s,t)-inverse quasigroups. Discrete Math. Elsevier. 266(1-3):275-291, 2003.
3. Т. Кепка, Р. Немес, T-quasigroups. Part I, Acta Universitatis, Carolinae Math. et Physica. 12 (1) (1971) 39–49.
4. Shcherbacov V.A. Elements of Quasigroup Theory and Applications. CRC Press, Boca Raton, 2017.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИГНАЛА ПОСЛЕ РАССИНХРОНИЗАЦИИ МЕЖДУ ПЕРЕДАТЧИКОМ И ПРИЕМНИКОМ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ**

*Шевцов Д.В.*, д-р техн. наук, доц., *Канделаки К.С.*  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*k.kandelaky97@gmail.com*

Для защищенных систем связи одной из наиболее значимых задач является обеспечение высокого уровня показателей надежности и качества обмена информацией. Для этого система должна характеризоваться помехоустойчивостью, которая обеспечивает способность системы сохранять заданные количественные и качественные показатели передачи данных, несмотря на наличие помех в канале связи.

В защищенных системах передачи данных между источником и приемником информации, для обеспечения надежности и достоверности, следует организовать символьную синхронизацию. При воздействии помех на передаваемое сообщение возможно изменение одного или группы символов, вызывающих искажение информации в канале связи.

Изменение зашифрованной информации в общем случае приведет к искажению данных при расшифровании. Для обнаружения и исправления ошибок, вызванных помехами в канале связи, используемые коды не способны исправлять искажения информации с потерянными или добавленными несколькими битами. Модификация алгоритмов декодирования корректирующих кодов позволяет устранить такие виды искажений. Описанный алгоритм обеспечит восстановление синхронизации при расшифровке сообщений в защищенных системах передачи данных [4].

Темой исследования являются защищенные системы передачи данных и различные способы исправления символьных ошибок в канале связи.

Целью исследования является совершенствование способов восстановления синхронизации между приёмо-передающими устройствами на основе модифицированных алгоритмов.

Анализ предметной области показал, что существует два основных подхода для восстановления сигнала и синхронизации в канале связи:

Первый относится к классической задаче интерполяции функции, имеющий уже описанные методы решения [2, 3];

Второй подход заключается в восстановлении непрерывного сигнала по значениям дискретного сигнала, заданного в узлах неравномерной

временной сетки с неизвестными точно координатами ее узлов.

Рассматривая существующие методы для синхронизации сигнала в канале связи, можно сделать вывод, что многие используемые алгоритмы восстановления дискретных сигналов с неизвестными значениями координат узлов временной сетки сводятся к решению оптимизационной задачи с множеством параметров и направлены на нахождение всех неизвестных точек отсчетов сигнала.

В данном исследовании уделяется особое внимание: “Методу локальной аппроксимации эмпирических зависимостей”. Катковник предложил использовать методы локальной аппроксимации эмпирических зависимостей в задаче восстановления функциональной зависимости при наличии ошибок в независимых переменных по активной схеме регрессионного анализа [1]. Методы решения задач регрессионного анализа экспериментальных данных при наличии погрешностей в определении предиктора, найденные при целом ряде ограничений, проверить выполнение которых на практике оказывается невозможным, описаны в [2]. Направленность рассматриваемых авторами алгоритмов на измерения стохастических параметров моделей не позволяет использовать данные методы напрямую, поскольку основной их задачей является не восстановление дискретного сигнала заданного в узлах неравномерной временной сетки и в результате не вычисление истинных значений наблюдений. Однако методология и подходы, такие как, например, локальная аппроксимация значений сигнала исходя из полученных статистических данных, может быть использована весьма эффективно для достижения поставленной задачи. Направлением исследования является: совершенствование метода локальной аппроксимации эмпирических зависимостей и увеличение вероятности восстановления исходного сигнала.

### Список литературы

1. Бородюк В.П., Вошинин А.П. Ошибки регистрации независимых переменных в задачах множественной регрессии // Заводская лаб. – 1973. – Т. 39. – С. 831-835.
2. Кусайкин Д.В. Исследование методов восстановления дискретных сигналов с неравномерной частотой дискретизации в системах телекоммуникаций / Информационные технологии в мире коммуникаций: сборник тезисов участников VII Всероссийской научно-практической конференции. – 2014. – М. 2014. – С. 153-159.
3. Кусайкин Д.В. Поршневу С.В. Исследование методов восстановления сигналов с неравномерной частотой дискретизации // Теория, техника и экономика сетей связи: Сборник научно-технических и методических трудов. Екатеринбург: УрТИСИ ФГОБУ ВПО «СибГУТИ». – 2014. – Вып.12. – С. 218-226.
4. Сизоненко, А. Б. Использование свойств сверточных кодов для устранения рассинхронизации при расшифровании сообщений, зашифрованных синхронными поточными шифрами / А. Б. Сизоненко // Информационные системы и технологии. – 2013. – № 1. – С. 41-46.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

*Шепеленко В.Е., Мельник А.-В.В.*, канд. техн. наук  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*vladislav.shepelenko@mail.ru*

**Введение.** В современном информационном обществе, где объем данных и контента растет экспоненциально, способы помочь людям ориентироваться в этом море информации становятся все более значимыми. В этом контексте рекомендательные системы приобретают особую актуальность и важность. Эти системы не только обеспечивают персонализацию контента, но и поднимают качество пользовательского опыта на новый уровень, что имеет огромное значение для как бизнес-применения, так и удовлетворения потребностей людей.

**Основная часть.** Рекомендательная система – это комплекс алгоритмов, программ и сервисов, задача которого предсказать, что может заинтересовать того или иного пользователя. В основе работы лежит целый комплекс алгоритмов и методов, которые позволяют системе анализировать данные о пользователях и контенте, строить профили пользователей, находить сходство между ними и элементами контента, а также предсказывать интересы и предпочтения.

Существует 4 основных метода построения рекомендаций: коллаборативная фильтрация (collaborative filtering), основанные на контенте (content-based), основанные на знаниях (knowledge-based) и гибридные (hybrid).

Один из наиболее распространенных методов для составления рекомендаций – это коллаборативная фильтрация. Этот метод основывается на анализе и использовании исторических данных о предпочтениях пользователей. Он предполагает, что пользователи, имеющие похожие предпочтения в прошлом, будут иметь схожие предпочтения и в будущем. Для реализации коллаборативной фильтрации можно использовать два подхода: основанный на элементах (item-based) и основанный на пользователях (user-based). В основанном на пользователях подходе рекомендации строятся на основе сходства между пользователями: метод использует историю взаимодействия пользователей с элементами контента (например, оценки, покупки, просмотры) для выявления схожих пользователей. В свою очередь, основанный на элементах подход строит рекомендации на основе сходства между элементами контента.

Следующий способ составления рекомендаций будет основанный на контенте метод. Это один из популярных типов рекомендательных систем,

который основан на анализе характеристик элементов контента. Основная идея заключается в том, что пользователю рекомендуются элементы контента, которые имеют схожие характеристики с теми, которые он ранее положительно оценил или просмотрел. Основным преимуществом данного метода является то, что он не требует большой объем истории взаимодействия с контентом, что полезно для новых пользователей или нового контента.

Далее идет основанный на знаниях метод составления рекомендаций. Данный метод использует знания о предметной области и профилях пользователей для предоставления персонализированных рекомендаций. В данном методе, как и в основанном на контенте, не учитываются оценки пользователей, он основан на экспертных знаниях или правилах, которые описывают, какие элементы товара соответствуют интересам или потребностям пользователя. Хорошим примером данного метода будет интернет-магазин, который к покупке телефона будет рекомендовать чехол, переходники и другую связанную с товаром информацию.

Последним основным вариантом для подбора рекомендаций будет гибридный метод. Это подход к созданию рекомендательных систем, который комбинирует несколько различных методов или подходов с целью улучшения качества и точности рекомендаций. Гибридный метод позволяет использовать преимущества и избавляться от недостатков других подходов. Например, у стримингового сервиса Netflix в рекомендательной системе объединено 27 алгоритмов.

Рекомендации могут быть разделены на две основные категории:

**Неперсонализированные** рекомендации, которые являются самыми простыми в реализации, потому что не зависят от анализа характеристик пользователя. Зачастую в таких системах показатель заинтересованности пользователя в объекте рекомендации определяется средним рейтингом продукта.

**Персональные** рекомендации, которые создаются с учетом индивидуальных интересов и предпочтений каждого пользователя, обеспечивая более точные и эффективные результаты.

Предоставление персональных рекомендаций активно используется в различных сферах, таких как:

1. Электронная коммерция: онлайн-магазины.
2. Медиа и развлечения: стриминговые сервисы, такие как Netflix и Spotify.
3. Социальные сети.
4. Туризм и путешествия.

Грамотно настроенный сбор информации позволяет сделать рекомендации релевантными. С их помощью сокращается время поиска нужных товаров или услуг, улучшается пользовательский опыт, а также повышается вероятность совершения сопутствующих целевых действий.

Однако, у персональных рекомендаций так же имеются и недостатки. Например, есть вероятность что человек не захочет искать что-либо новое, выходя за рамки рекомендаций. А также в некоторых случаях рекомендации могут быть неточными или неактуальными, что только ухудшит опыт использования продукта.

**Заключение.** В конечном итоге, несмотря на недостатки, персональные рекомендательные системы имеют значительно влияние на современные интернет-сервисы и их преимущества в эффективности, удобстве и качестве перевешивают недостатки. Дальнейшее развитие сферы составления рекомендаций будет сопровождаться улучшением точности, индивидуальности и адаптивности, а также распространением сфер применения вплоть до образования, здравоохранения и финансов.

### Список литературы

1. Cremonesi P. Производительность рекомендательных алгоритмов в топ-N рекомендательных задачах [Электронный ресурс] / Y. Koren, R. Turrin // ResearchGate: науч.-информ. соц. сеть. – 2010. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/221141030\\_Performance\\_of\\_recommender\\_algorithms\\_on\\_top-N\\_recommendation\\_tasks](https://www.researchgate.net/publication/221141030_Performance_of_recommender_algorithms_on_top-N_recommendation_tasks) – (Дата обращения 16.09.2023).
2. Massa P. Рекомендательные системы, ориентированные на доверие [Электронный ресурс] / P. Avesani // CiteSeerX: Электрон. библиотечка. – 2007 – URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.106.305&rep=rep1&type=pdf> – (Дата обращения 16.09.2023).
3. Hill W. Recommending and Evaluating Choices in a Virtual Community of Use / L. Stead, M. Rosenstein, G. Furnas // Proceeding Conference Human Factors in Computing Systems. – 1995. – p. 194-201
4. Vucetic S. Performance Controlled Data Reduction for Knowledge Discovery in Distributed Databases / Z. Obradovic // Proceedings of the 4th Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Current Issues and New Applications. – 2000. – p. 29-39.
5. Herlocker J. A framework for collaborative information environments and unified access to distributed digital content / J. Webster, S. Jung, A. Dragunov, T. Holt, T. Culter, S. Haerer // Proceedings of the 2nd ACM/IEEE-CS joint conference on Digital libraries. – 2002. – P. 378-379.

# ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

## *Аналитическая химия*

УДК 543.062

### ЭКСПРЕСС-МЕТОД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ СМЕСИ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ БАРАБАННОГО ГРАНУЛЯТОРА

*Афанасьев В.В., Заговора Н.В., Шавшина А.Н., Мищенко А.Г.*

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт «Реактивэлектрон»,

г. Донецк, РФ

*reaktivelektron@mail.ru*

**Введение.** При создании композиционных материалов на основе порошков, решающее значение имеет создание условий, при которых смесь из нескольких компонентов будет максимально однородной. Для этой цели используются различные аппараты [1]. Поскольку, исходные порошки зачастую имеют сильно отличающиеся друг от друга физико-химические свойства, то для создания однородной смеси в каждом конкретном случае, необходимо подобрать соответствующий аппарат и оптимальный режим его работы. В качестве основы критерия оценки качества смеси принимают среднеквадратичное отклонение содержания ключевого компонента в пробах, взятых из разных мест аппарата. Количество проб, необходимых для анализа, рассчитываются с помощью методов математической статистики [2], и должно быть не менее 5.

**Цель работы** – разработать экспресс-метод определения концентрации компонентов на примере двухкомпонентной смеси «электрокорунд-поваренная соль» при тестировании барабанного гранулятора.

**Основная часть.** В качестве перемешивающего аппарата нами был разработан барабанный гранулятор (рис.1). Для определения оптимальных условий работы данного устройства, необходимо провести ряд экспериментов при разных режимах его работы, меняя угол наклона, скорость вращения барабана, количество загружаемого материала, его дисперсный состав. В качестве компонентов, используемых для тестирования барабанного гранулятора, мы использовали порошок электрокорунда ( $Al_2O_3$ ) и поваренную соль (NaCl). Выбор этих компонентов обусловлен несколькими факторами: дешевизна, доступность, возможность приготовить смеси разного гранулометрического состава, быстрый анализ смеси.

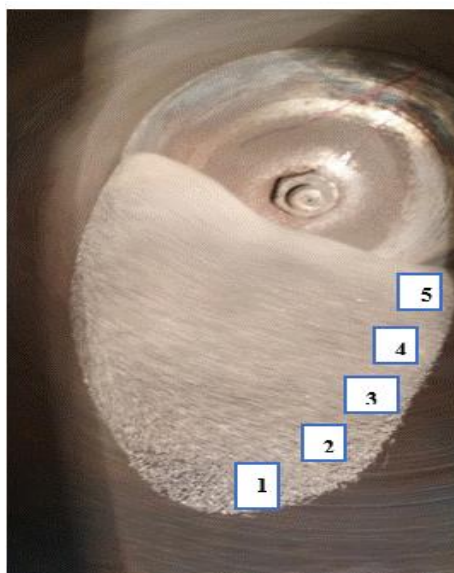


Рис. 1. Барабанный гранулятор  
1,2,3,4,5 – точки отбора проб

В данной смеси ключевым компонентом для анализа являлась поваренная соль, а аналитическим сигналом для определения содержания NaCl в пробах являлась плотность водных растворов поваренной соли,  $\text{г/см}^3$ , при  $20^\circ\text{C}$  [3]. Графическая прямая зависимость плотности растворов поваренной соли от концентрации NaCl имеет значительный градиент и постоянный угол наклона в широком пределе от 0 до 15 % масс. При этом другой компонент смеси  $\text{Al}_2\text{O}_3$  практически нерастворим в воде. Это позволяет использовать показатель плотности растворов, полученных при обработке проб водой, как критерий однородности перемешивания, а также выяснить зависимость степени усреднения смеси от различных параметров работы барабанного смесителя.

Таким образом, схема проведения аналитических испытаний была следующая. Отобранную пробу массой 4-5 г помещали в стеклянный стакан, куда приливали пипеткой Мора  $20 \text{ см}^3$  дистиллированной воды. Суспензию перемешивали в течение 30 минут, затем фильтровали через бумажный фильтр «белая лента». Плотность фильтрата определяли пикнометрическим методом согласно п.2.17 ГОСТ 13685[4].

Корректность аналитического испытания проверяли по плотности фильтрата «холостой пробы» (без поваренной соли) и был равен  $1,000 \text{ г/см}^3$ .

Следовательно, увеличение плотности раствора обусловлено только присутствием поваренной соли, а точнее ее концентрацией.

В таблице 1 приведены значения концентрации NaCl в зависимости от количества оборотов барабанного гранулятора, а также от расстояния места отбора пробы.

Таблица 1

Концентрация NaCl в зависимости от количества оборотов барабанного гранулятора и расстояния от места отбора проб

Место отбора пробы от конца барабана, см	Концентрация NaCl %, 30 об.	Концентрация NaCl %, 90 об.	Концентрация NaCl %, 220 об.
1	45,6	20,6	16,8
3	49,3	21,1	16,1
5	30,6	19,4	17,9
7	10,5	23,2	16,8
9	14,2	37,3	14,1

На основании данных таблицы был построен график (рис. 2). Исходя из графика можно сделать вывод о том, что концентрация поваренной соли зависит от места отбора пробы и количества оборотов барабанного гранулятора.

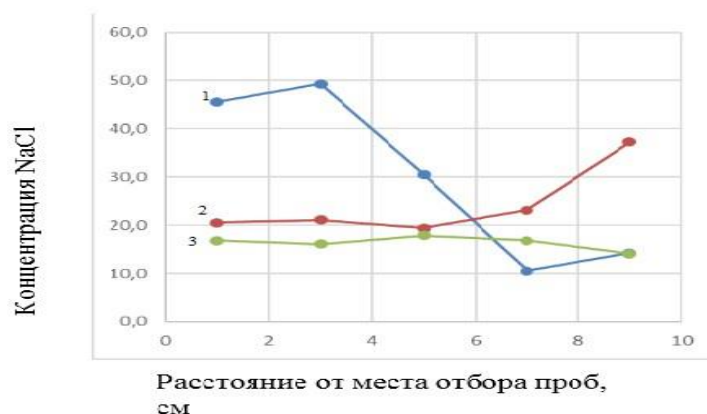


Рис. 2. График зависимости концентрации NaCl от количества оборотов барабанного гранулятора и расстояния от места отбора проб  
1 – 30 оборотов, 2 – 90 оборотов, 3 – 220 оборотов

**Заключение.** Разработан экспресс-метод быстрого определения концентрации NaCl в смеси с электрокорундом ( $Al_2O_3$ ), который был опробован при тестировании барабанного гранулятора.

### Список литературы

1. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.А. Макаров – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
2. Шторм, Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества Пер. с нем. / Р. Шторм – М.: изд. Мир, 1970. – 368 с.
3. ГОСТ 13685-84 Соль поваренная. Методы испытаний: Межгосударственный стандарт: дата введения 1985-01 -01 Федеральное государственное унитарное предприятие. – Изд. Официальное – М, : Стандартиформ, 2019. – 31 с.
4. Карякин, Ю.В. Чистые химические реактивы: Справочник / Ю.В. Карякин, И.И. Ангелов – М.: Госхимздат, 1955. – 583 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТАЛЛИЯ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ И ЭКТОДЕРМАЛЬНЫХ ТКАНЯХ ЧЕЛОВЕКА

*Добрыдин А.В., Шама М.А.*

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*av\_dobrydin@mail.ru*

**Введение.** Соединения таллия – высокотоксичные вещества – 1 класс опасности, обладают общетоксическим и изменяющим геном человека действием, даже в довольно низких концентрациях.

В норме концентрация таллия в волосах человека составляет 0,01 мкг/г, в моче – 0,01 мкг/л. При отравлении таллий обнаруживается в моче и крови на уровне 0,2–1,0 мг/л [1]. Прямое определение таких низких концентраций таллия в биологических материалах практически невозможно и требует использования аналитических форм отделения, которые эффективно сочетаются с последующим методом определения. Высокочувствительный метод атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией позволяет определять таллий на уровне 0,001мг/л. Метод пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии имеет относительно низкую чувствительность к таллию –1 мг/л. Применение стадий концентрирования и отделения таллия от сопутствующих элементов позволит снизить нижнюю границу определяемых содержаний таллия, уменьшить влияние компонентов матрицы, и тем самым обеспечить надёжный контроль его содержания в биологических жидкостях и эктодермальных тканях человека. Аналитическая химия располагает значительным числом методов концентрирования и отделения, однако, лишь немногие из них удовлетворяют современным требованиям по степени концентрирования, селективности и быстроты проведения анализа. Перспективным в токсикологическом анализе является метод экстракции, степень быстроты проведения которого позволяет эффективно использовать его для диагностики единичных и массовых отравлений таллием.

**Цель работы** – изучение оптимальных условий экстракционно-фотометрического и экстракционно-атомно-абсорбционного определения таллия в биологических материалах: моче, крови и волосах.

**Основная часть.** Трифенилметановые красители (ТМК) могут быть использованы в качестве экстрагентов для извлечения различных элементов, включая таллий. ТМК обладают способностью образовывать устойчивые ионные ассоциаты с металлами и имеют высокую степень селективности. Более того, они легкодоступны и относительно недороги. В работе использованы два представителя ТМК – бриллиантовый зелёный и метиловый фиолетовый. В рамках исследования проведена серия экспериментов, включающих определение оптимальных условий для экстракции таллия с помощью двух указанных ТМК. Исследованы различные

факторы, такие как кислотность раствора, концентрация ТМК, наличие катализатора, время контакта фаз, присутствие других металлов и природа окислителя, способствующего окислению Тl (I) в Тl (III). Условия экстракции и фотометрического определения Тl в модельном растворе мочи и крови человека представлены в таблице 1. Градуировочная зависимость линейна в интервале 0,1–5,0 мг/л.

Таблица 1

Сравнительная оценка экстракционно-фотометрических методик определения таллия в модельном растворе мочи и крови человека (n = 5; P= 0,95)

Экстракционный реагент	Условия экстракции	Максимум поглощения $\lambda$ , нм	Степень извлечения таллия, %	Относительное стандартное отклонение $S_r$
Бриллиантовый зеленый	~ 3 М HCl, окислитель NaNO <sub>2</sub>	610	95	0,08
Метилловый фиолетовый	4 М H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , катализатор 0,5% FeCl <sub>3</sub>	590	99	0,03

Растворителем служил толуол. Использование более сильного окислителя H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в присутствии катализатора FeCl<sub>3</sub> позволяет провести процесс окисления более полно, что обуславливает лучшие характеристики степени извлечения и сходимости. Учитывая данные об условиях проведения экстракционного извлечения ионных ассоциатов таллия, установлено влияние соляной, фосфорной, кислот и хлорида железа (III) на атомно-абсорбционный аналитический сигнал таллия. Показано, что фосфорная кислота практически не влияет на аналитический сигнал таллия. В присутствии HCl уменьшается абсорбция таллия, т.к. хлориды таллия летучи и теряются на стадии пиролиза. Катализатор окисления Тl(I) до Тl (III) хлорид железа (III) также оказывает депрессирующее влияние. В дальнейшем экстракцию таллия проводили из фосфорнокислых растворов. Железо при этом связывается в фосфатный комплекс, который не экстрагируется. Проведен выбор оптимальных температурно-временных параметров нагрева графитового атомизатора. Оптимальная температура пиролиза составляет 850 °С. Электротермический атомно-абсорбционный метод и экстракционно-фотометрический метод были использованы для определения таллия в модельной пробе мочи, имитирующей мочу человека, подвергшегося отравлению соединениями таллия. В модельный раствор мочи был введен стандартный раствор таллия(I) до итоговой концентрации 0,50 мкг/л. Полученные данные представлены в таблице 2. Из данных таблицы 2 видно, что наиболее точным методом определения таллия в моче при его половинном допустимом содержании является экстракционно-атомно-абсорбционный метод (ЭТААС) с метиловым



Таблица 2

Определение содержания таллия в модельной пробе мочи (n = 5; P= 0,95)

Введено таллия, мкг/л	Найдено таллия методом					
	экстракционно-фотометрический с метиловым фиолетовым		экстракционно-ЭТААС с метиловым фиолетовым		экстракционно-ЭТААС с бриллиантовым зеленым	
0,50	$\bar{C} \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}}$ , мкг/л	$S_r$	$\bar{C} \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}}$ , мкг/л	$S_r$	$\bar{C} \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}}$ мкг/л	$S_r$
	0,47 ± 0,06	0,10	0,52 ± 0,05	0,10	0,55 ± 0,07	0,08

фиолетовым. В целом, результаты трёх методов удовлетворительно совпадают. ЭТААС метод с метиловым фиолетовым применён для определения таллия в волосах. Проверка правильности проведена методом стандартных добавок. Полученные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3

Проверка правильности определения таллия в волосах (n=5; P=0,95)

$S_{Tl}$ , мкг/л		$S_r$
Введено	Найдено	
0,20	0,18 ± 0,03	0,07
2,0	1,90 ± 0,02	0,01

Разработана экстракционно-атомно-абсорбционная методика определения таллия в волосах. Правильность результатов разработанной методики доказана методом «введено-найденно» ( $S_r = 0,07$  при определении 0,20 мкг/л). Методика может быть использована в диагностических целях и для прогнозирования загрязнения токсичными соединениями таллия.

**Заключение.** Полученные результаты могут быть полезными для разработки новых методик анализа таллия в биологических жидкостях и эктодермальных тканях человека, будут способствовать расширению базы знаний о поведении этого элемента в организме. Это имеет практическое значение для оценки экологической ситуации и здоровья населения, особенно в условиях возможного загрязнения окружающей среды таллием и проведением диагностики отравления таллием в криминалистическом анализе.

*Работа выполнена в рамках государственного задания № 102303110000-1-1.4.7.*

### Список литературы

1. Авцын, А.П. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология: монография / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, М.А. Риш, Л.С. Строчкова. – М.: Медицина, 1991. – 496 с. – ISBN 5-225-02128-X. – Текст : непосредственный.

## СОСАДИТЕЛЬНО-ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕРИЛЛИЯ В ШАХТНЫХ ВОДАХ ДОНЕЦКОГО РЕГИОНА

*Добрыдин А.В., Шама М.А., Портянов М.О.*

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*av\_dobrydin@mail.ru*

**Введение.** Соединения бериллия обладают высокой токсичностью (элемент I категории опасности – ПДК в воде составляет 0,0002 мг/л), а [1] отходы угольных производств, шахтные воды, которые сбрасываются на Донбассе ежедневно, да и сам уголь содержат бериллий в довольно высоких концентрациях [2]. Прямому фотометрическому определению бериллия мешает низкая селективность реагентов вследствие влияния на аналитический сигнал бериллия растворов со сложным многокомпонентным составом. Требуется отделение бериллия от сопутствующих металлов. Необходимо применение стадий концентрирования и отделения бериллия от сопутствующих элементов, что позволит снизить нижнюю границу определяемых содержаний бериллия, уменьшить влияние компонентов матрицы, и, тем самым обеспечить надёжный контроль его содержания в воде. Следует отметить, что несмотря на значительное число предложенных методов концентрирования и отделения, лишь немногие из них удовлетворяют современным требованиям по степени концентрирования и избирательности. Перспективным в экологическом контроле состава вод является метод соосаждения, степень разработанности которого позволяет эффективно использовать его для серийных и массовых анализов.

**Цель работы** – изучение возможности концентрирования и выделения бериллия соосаждением на фосфате титана, разработка на основе экспериментальных исследований, соосадительно-фотометрической методики определения, с использованием доступного оборудования и реактивов.

**Основная часть.** С целью оптимизации параметров количественного выделения бериллия из водных растворов исследовано влияние кислотности среды на величину степени перевода бериллия в концентрат R(%) при соосаждении с фосфатом титана (рисунок 1).

Из полученных данных (рисунок 1) видно, что количественное извлечение бериллия при его соосаждении фосфатом титана наблюдается в довольно узком интервале рН от 5,0-6,0. Отдельными исследованиями установлено, что наиболее подходящей средой является аммонийно-ацетатная среда. В дальнейшем использовали для установления рН среды

образующийся в ходе смешения реактивов, аммонийно-ацетатный буферный раствор с рН 5,2-5,4.

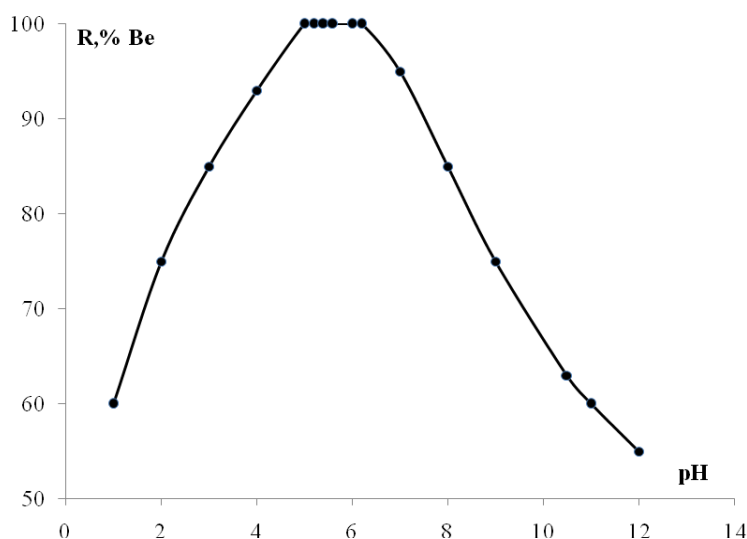


Рис. 1. Влияние кислотности среды на степень перевода бериллия в концентрат при осаждении на фосфате титана; концентрация бериллия в исследуемом растворе 5 мкг/мл

Выбор фосфата титана обусловлен тем, что концентрат бериллия полученный на его основе, исключительно хорошо сочетается с последующим фотометрическим определением бериллия с бериллоном II. Такое сочетание обусловлено тем, что титан можно связать в бесцветный комплекс в щелочной среде с перекисью водорода и он не мешает фотометрическому определению бериллия с бериллоном II. Мешающие элементы удерживали в растворе связыванием их в прочные трилонатные комплексы. При осаждении с фосфатом титана 5 мкг бериллия в растворе могут присутствовать 50 мг Al, 7 мг Ca, 8 мг Mg, 0,5 мг Mn, по 0,1 мг Cu, Ni, Zn, Se, и 15 мг Fe.

Проведённые исследования были положены в основу разработки методики определения микроколичеств бериллия с предварительным концентрированием соосаждением на фосфате титана.

Оптическую плотность измеряли на фотоэлектроколориметре при 620 нм с толщиной поглощающего слоя 5,0 см относительно холостого опыта, содержащего все реактивы. Содержание бериллия в пробе определяли по градуировочному графику, который линейен в интервале 0,01 – 10 мкг Be/л. Результаты определения бериллия в шахтных водах и водопроводной сети г. Донецка, приведены в таблице 1. Проверка правильности проведена методом «введено-найдено».

Таблица 1

Результаты определения бериллия (мкг/л) в шахтных водах Донецкого региона и водопроводной сети г. Донецка (n=5; P =0,95)

ПРОБА	Введено Ве, мкг/дм <sup>3</sup>	Найдено Ве мкг/дм <sup>3</sup>	Относительное стандартное отклонение S <sub>r</sub>
Водопроводная вода г. Донецк	–	менее 0,01	–
	0,05	0,04±0,02	0,25
	0,10	0,09±0,02	0,15
Шахтная вода ГП «Макеевуголь» ОП Шахта «Чайкино»	–	менее 0,01	–
	0,05	0,04±0,02	0,25
	0,10	0,08±0,01	0,15
Вода отстойник ГП «Макеевуголь» ОП Шахта «Чайкино»	–	менее 0,01	–
	0,05	0,03±0,02	0,33
	0,10	0,07±0,02	0,15

Из результатов проверки правильности методом «введено-найденно» следует, что разработанная методика позволяет контролировать содержание бериллия в различных типах вод на уровне и ниже ПДК с удовлетворительной для таких низких концентраций точностью (S<sub>r</sub> = 0,15-0,33). Данная методика может быть использована для определения бериллия в других объектах после соответствующей подготовки проб и позволяет сконцентрировать бериллий в 20 раз.

**Заключение.** Главным преимуществом разработанной методики является малая продолжительность анализа. Это позволяет использовать методику для оперативного контроля качества воды, методика может быть применена при большом количестве анализируемых проб и не требует дорогостоящего оборудования и реактивов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания № 102303110000-1-1.4.7.*

### Список литературы

1. Бериллий. Токсикология, гигиена, профилактика, диагностика и лечение бериллиевых поражений: Справочник/ Кейзер С.А., Авдюхина А.А., Алексеева О.Г. и др.: под ред. Ф.И. Бурназяна. – М.: Атомиздат, 1980. – 115 с. – ISBN 5-1600-155-1. - Текст : непосредственный.
2. Юдович, Я. Э. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях: монография/ Я.Э. Юдович, М.П. Кетрис. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 180 с. – ISBN 5-7691-1521-1. - Текст : непосредственный.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ В АЗИТРОМИЦИНЕ

*Емельянова О.Е., Яценко Н.Н.*, канд. хим. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет  
им. И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, РФ  
*emelyanova.oe@mail.ru*

**Введение.** Остаточные органические растворители, образующиеся в процессе производства активных фармацевтических субстанций, токсичны и представляют опасность для человека, поэтому их содержание обязательно должно контролироваться. Существует несколько классов токсичности остаточных органических растворителей. Безопасность активной фармацевтической субстанции зависит от класса токсичности остаточного органического растворителя и степени его удаления в процессе производства.

**Цель работы** – разработать метод газохроматографического определения остаточных органических растворителей в азитромицине.

**Основная часть.** В работе использовали стандартные образцы ацетона, толуола, метанола (карбинола) и метиленхлорид производства ООО «Экросхим», Россия, а также диметилсульфоксид (высокой чистоты, Sigma Aldrich, США). Для приготовления растворов использовали весы аналитические (Shinko, Япония). Для газохроматографического анализа использовали газовый хроматограф Shimadzu GC-2010 с пламенно-ионизационным детектором, оснащенный автосэмплером (Shimadzu, Япония).

В качестве газа-носителя использовали гелий. Колонку использовали ZB Wax 30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм (Zebron, США).

Готовили стандартные растворы в ДМСО и испытуемые растворы азитромицина в ДМСО. Все растворы использовали свежеприготовленными. Перед анализом помещали около 1,5 мл растворов в виалы для автосэмплера. Объем вкола 1,0 мкл. Для анализа использовали хроматографические параметры согласно рекомендациям с сайта [www.phenomenex.com](http://www.phenomenex.com). Полученные хроматограммы обрабатывали при помощи программного обеспечения GC Solution.

**Заключение.** Удалось разработать методику определения таких остаточных органических растворителей в азитромицине, как ацетон, толуол, метанол и метиленхлорид.

### Список литературы

1. Матвеева О.А. Контроль остаточных количеств органических растворителей в фармацевтических субстанциях // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. – 2022. – Т. 12, №3. – С.241–243. DOI: 10.30895/1991-2919-2022-12-3-241-243.
2. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. Т.1. М.; 2018. Available from: <http://femb.ru/record/pharmacopea14>.
3. URL: <https://www.phenomenex.com/Products/Search/GC> (дата обращения: 24.09.2023).

## ВЫБОР КРИТЕРИЕВ РЕАКЦИИ МАССИВА ПЬЕЗОСЕНСОРОВ НА ЛЕГКОЛЕТУЧУЮ ФРАКЦИЮ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ

*Лисицкая Р.П.*, канд. техн. наук, доц., *Шабельский В.С.*

ФГКВОУ ВПО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»», г. Воронеж, РФ  
*lisitskaya\_raisa@mail.ru*

**Введение.** Контроль качества и определение аутентичности бензинов – одна из актуальных проблем особенно для потребителей в местах реализации. Наиболее простой и самый распространенный способ фальсификации автомобильного топлива – смешивание бензина с высоким октановым числом (ОЧ) с низкооктановым или даже с суррогатом.

**Основная часть.** Цель работы: разработка малозатратного способа установления факта фальсификации бензинов при смешивании топлива с разным ОЧ на основе качественных и количественных критериев анализатора газов с набором пьезосенсоров.

Задача исследования – выбор качественных и количественных критериев реакции массива пьезосенсоров на пробы – носителей аналитической информации о составе бензина, для объективной оценки аутентичности топлива.

Объектами исследования являлись автомобильный бензин марок АИ-92 и АИ-95 разных производителей и смеси данных бензинов в разных объемных соотношениях.

Исследование равновесных газовых фаз над пробами топлив выполняли на анализаторе газов «МАГ-8» на основе 3–6 пьезокварцевых резонаторов с базовой частотой колебаний 10,0 МГц с разнохарактерными пленками сорбентов на электродах.

В идентичных условиях изучена кинетика сорбции равновесных газовых фаз над пробами имитаторами фальсифицированных бензинов на основе бензина АИ-95 с добавлением бензина АИ-92 в объемных долях: 25; 33; 50 и 75 % об. Выбрано различное время сорбции легко летучих веществ бензинов: 5, 30 и 60 с. Сопоставлены неравновесные (5 с) и равновесные (60 с) отклики массива сенсоров в парах бензинов. Установлено, что за полное время сорбции веществ сигналы массива сенсоров и их расчетные характеристики малоразличимы. Установлено, что при малой объемной доле АИ-92 в бензине АИ-95 реакция сенсоров на смесь легко летучих веществ в равновесной газовой фазе существенно различается.

При введении в высокооктановый бензин бензина АИ-92 наблюдается синергетический эффект изменения площади кинетического

«визуального отпечатка»  $S$  при любых соотношениях объемов топлив. При введении более 60 % об. бензина АИ-92 к АИ-95 особенности химического состава обоих видов топлива сглаживаются и различия не фиксируются.

Максимальный синергетический эффект достигается при соотношении бензинов 1:1, закономерность сохраняется при регистрации интегрального аналитического сигнала  $S$  как за 30 с, так и за полное время сорбции 60 с.

Для сглаживания шумов и влияния на сигналы сенсоров непостоянства внешних условий при тест-оценке качества бензина применен метод нормировки площадей «визуальных отпечатков». При этом получена линейная зависимость нормированного интегрального сигнала массива пьезосенсоров в парах бензина АИ-95 от объемной доли добавки АИ-92 ( $\omega = 0-50$  % об.), которая описывается уравнением:

$$\bar{S} = -0,0187\omega + 0,0343 (R^2 = 0,9995)$$

где  $\bar{S}$  – нормированное значение площади «визуального отпечатка»,  $\omega$ , % об. – объемная доля добавки бензина АИ-92 в пробе бензина АИ-95.

Уравнение может быть применено для экспрессной оценки бензинов и выявления проб с явной фальсификацией.

Для повышения надежности классификации проб и решения задачи аутентификации применен дополнительный новый расчетный критерий, характеризующий постоянство состава смесей (качественное и количественное) – кинетический критерий  $A_S(\tau_1/\tau_2)$  для массива из трех сенсоров. Установлено, что зависимости критериев  $A_S(\tau_1/\tau_2)$  от объемной доли добавки бензина АИ-92 описываются квадратичными уравнениями с близкими коэффициентами детерминации. Однако в широком диапазоне варьирования состава смесей они не позволяют установить один состав смеси по полученным данным в ходе измерения. Если ограничить область добавки бензина с меньшим октановым числом до 50% об., то для решения аналитических задач может быть применена линейная область зависимости одного из параметров от доли добавляемого бензина АИ-92.

С учетом коэффициента достоверности аппроксимации  $R^2$  более надежным параметром является усредненный параметр  $\bar{A}_S$ :

$$\bar{A}_S = -0,0049\omega + 0,67 (R^2 = 0,9990)$$

Предварительные исследования авторов и полученные результаты позволили разработать способ установления фактов фальсификации автомобильного топлива путем добавления бензина с более низким ОЧ [1]. Способ и методика выполнения анализа описана ранее [2].

Решение о фальсификации бензинов добавлением жидкого топлива других марок может быть принято по следующему алгоритму: если рассчитанное значение объемной доли  $\omega > 6$  % об., бензин считается фальсифицированным и содержит низкооктановые продукты переработки нефти.

По разработанному алгоритму проведен анализ нескольких проб бензина АИ-95 с добавками бензина АИ-92 в произвольных соотношениях. Результаты количественной оценки добавки по двум расчетным параметрам приведены в таблице.

Таблица

Результаты анализа фальсифицированного бензина АИ-95 по параметрам анализатора газов «МАГ-8» методом «введено-найдено» ( $P = 0,95$ ;  $n = 4$ )

Введено АИ-92, % об.	Найдено объемной доли добавки бензина АИ-92 к АИ-95, % об.			
	По $S_{\Sigma}$ с нормировкой		По $\bar{A}_S$	
	$\omega$ , % об.	$S_r$ , %	$\omega$ , % об.	$S_r$ , %
18,0	$18,6 \pm 1,6$	5,4	$18,8 \pm 3,8$	12,0
26,0	$27,2 \pm 2,0$	4,5	$27,0 \pm 4,0$	9,3
50,0	$51,3 \pm 2,7$	3,3	$50,2 \pm 4,0$	5,0

**Заключение.** Установлено, что по всем предложенным критериям возможно установление факта фальсификации высокооктанового бензина с определением ориентировочной доли добавки с разбросом  $\pm 1,5\%$  об. и относительной погрешностью определения до 12%. Для тест-систем с минимальным ресурсом затрат и временем испытания менее 20 мин это хорошие характеристики. Кроме того, сокращение числа сенсоров в массиве приводит к возможности разработки карманного мобильного устройства с автономным питанием и запрограммированным алгоритмом расчета с выводом интуитивно понятного результата на экран.

Это делает возможным внедрение анализатора газов «электронный нос» на пьезовесах в систему контроля качества топлива для установления факта фальсификации высокооктановых бензинов путем добавления бензина с более низким ОЧ и оценить количество добавки.

### Список литературы

1. Кучменко Т.А., Лисицкая Р.П., Шабельский В.С. Применение «электронного носа» на пьезосенсорах для установления фактов фальсификации бензинов с разным октановым числом // Журн. аналит. химии. – 2022. – Т.77, № 2. – С. 188–198.
2. Лисицкая Р.П., Шабельский В.С. Разработка способа установления факта фальсификации автомобильных бензинов с применением газоанализатора на пьезосенсорах// Сб. ст. по материалам IX научно-практ. конф. «Молодёжные чтения, посвященные памяти Ю.А. Гагарина» (17–19 мая 2022 г.). Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2022. – С. 186–189.



## ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК

*Панца А.А.*

НУО ВППО «Тираспольский межрегиональный университет», г. Тирасполь, ПМР  
*pantsa97@list.ru*

В современном в мире пристальное внимание уделяется спорту. Люди, занимающиеся этим родом деятельности, ведут обособленный образ жизни. Это связано с постоянными тренировками, соревнованиями и подготовками к ним, что ведёт к большим затратам физической энергии и потере мышечной массы. Восполнение этих важных ресурсов происходит, главным образом, благодаря приёму пищи. Но не все продукты справляются с поставленной задачей, поэтому для питания людей, занимающихся спортом, рекомендуют ряд продуктов, составляющих особый баланс белков, жиров, углеводов, витаминов и минеральных веществ. Один из главных вопросов, который интересует спортсменов и специалистов это качество спортивного питания. В последнее время производители стали также отдавать продукцию на независимую экспертизу на предмет запрещенных и нежелательных веществ. Для того, что б подробнее разобраться в этой теме, для примера была выбрана биологически активная добавка бренда OstroVit.

Состав OstroVitExtraPure ВСАА 2:1:1 на 5 грамм: L-лейцин – 2,5 г; L-изолейцин – 1,25 г; L-валин – 1,25 г; подсластитель – экстракт стевии [1]. ВСАА – смесь трех незаменимых аминокислот. ВСАА состоит из трех аминокислот, имеющих разветвленную молекулярную конфигурацию: валин, лейцин и изолейцин. Они содержатся в мясе, рыбе, белках куриных яиц, молочных продуктах и других белковых продуктах. Название «ВСАА» расшифровывается, как «branched– chainaminoacids» (это значит – аминокислоты с разветвленными цепочками). Их особенностью является высокая скорость усваивания организмом [2]. Эти три незаменимые аминокислоты наиболее полезны для спортсменов. Они весьма ценны, ведь самостоятельно не могут синтезироваться организмом. Следовательно, получить их можно только с продуктами питания или специальными добавками. Дефицит каждой из ВСАА аминокислот может оказать существенный вред организму и нарушить обменные процессы [3].

ВСАА могут использоваться как источник энергии во время аэробной нагрузки, особенно при истощении мышечного гликогена. Таким образом, данные добавки могут оказывать эффект экономии белка. Выполнение физических упражнений увеличивает окисление ВСАА для того, чтобы поддержать энергетический гомеостаз путем превращения в легкодоступный источник энергии – глюкозу. Во время и после нагрузки у спортсменов снижается концентрация ВСАА (особенно лейцина), сразу вслед за этим включаются метаболические процессы, которые направлены на

нормализацию концентрации ВСАА, то есть начинают разрушаться мышечные белки, как основные источники для восполнения аминокислотного пула ВСАА. Дополнительный прием ВСАА в виде добавок может восстанавливать их концентрацию, и останавливать процесс разрушения мышц [4]. Прием ВСАА стимулирует экспрессию генов гормона лептина в адипоцитах (жировых клетках), по mTOR опосредованному пути. Лептин – это очень сложный гормон, который регулирует многие метаболические процессы, в том числе массу тела, аппетит, а также расход и накопление жира в организме. Секреция лептина напрямую связана с количеством жира тела, чем выше процент жира в организме, тем выше секреция лептина и наоборот. При прохождении цикла по сжиганию жира и соблюдении диеты, количество лептина снижается, что неизбежно приводит к повышению аппетита и экономии обменных процессов, с целью восстановления или сохранения энергетических запасов жира. Именно поэтому, большинство спортсменов могут значительно снижать калорийность рациона и увеличивать нагрузку, однако масса тела при этом не изменится, так как организм стремится поддержать гомеостаз. Сдвинуть контрольную точку и увеличить секрецию лептина помогают ВСАА, а именно лейцин. ВСАА словно обманывают организм, заставляя его думать, что в организм поступает калорийная пища. ВСАА помогают подавить аппетит, увеличить расход калорий за счет сжигания жира, повысить метаболизм, и главное защитить мышцы от разрушения.

Остается главный вопрос, это вопрос качества OstroVitExtraPure. Для подтверждения качества OstroVitExtraPure ВСАА 2:1:1 были проведены качественные аналитические реакции на компоненты объекта исследования на 100 г продукта: L-лейцин – 50 г, L-изолейцин – 25 г, L-валин – 25 г. Первой качественной реакцией на лейцин, изолейцин и валин является нингидриновая реакция. Нингидрин осуществляет окислительное декарбоксилирование лейцина, изолейцина и валина с последующим образованием аммиака, углекислого газа и альдегида. Восстановленный нингидрин затем реагирует с высвободившимся аммиаком и второй молекулой нингидрина, образуя с аммиаком продукт конденсации фиолетового цвета. Водный раствор OstroVit EXTRA PURE ВСАА дал положительную нингидриновую реакцию на аминокислоты. Что свидетельствует о наличии в исследуемом образце аминокислот лейцина, изолейцина и валина.

Следующим этапом было проведение хроматографического разделение смеси аминокислот ВСАА на бумаге с помощью нингидриновой реакции. Аминокислоты идентифицируют по значению  $R_f$  (коэффициент подвижности). Для этого измерили с точностью до миллиметра расстояние, пройденное проявителем от линии нанесения аминокислот до границы фронта проявителя. С такой же точностью измерили расстояние от точки нанесения аминокислот до центра цветного пятна. Путем деления величины пути, пройденного аминокислотой на хроматограмме, на величину пути, пройденного проявителем, нашли значение коэффициента  $R_f$ . Таким же

образом вычислили  $R_f$  для стандартных известных аминокислот (хроматограммы с известными аминокислотами – лейцином, изолейцином и валином поставили параллельно). И сравнивая  $R_f$  известных аминокислот с  $R_f$  аминокислот смеси, определили, что добавка OstroVit EXTRA PURE ВСАА действительно содержит смесь аминокислот – валина, изолейцина и лейцина [5] (табл. 1).

Таблица 1

Аминокислота	$R_f$ стандарта	$R_f$ опытное
Валин	0,488	0,490
Изолейцин	0,675	0,676
Лейцин	0,685	0,687

Был исследован образец пищевой добавки для спортсменов OstroVit, производства Польши. Качественные аналитические реакции подтвердили наличие заявленных производителем основных компонентов в объектах исследования. Хроматографическое разделение смеси аминокислот добавки OstroVit EXTRA PURE ВСАА показало наличие лейцина, изолейцина и валина в указанной добавке. Доказано что, объекты исследования не содержат веществ, запрещенных антидопинговым комитетом. Хочется отметить, для достижения максимального эффекта добавку лучше принимать в дни тренировки непосредственно перед и сразу после тренировки. Комплекс довольно посредственно растворяется в воде и в процессе растворения наблюдается значительный осадок, что есть абсолютно нормальным явлением для качественных ВСАА с достаточной концентрацией лейцина. Спортивные добавки не работают, когда: нет соответствующих тренировок, нет правильного питания. Большой ошибкой является замена обычной пищи добавками. Так же требуется цикличность в приеме спортивного питания и минимум три раза в году организму необходим отдых от приема добавок. Перед приемом пищевых добавок важно особо тщательно выбирать производителя, а также подбирать добавку по согласованию с врачом, тренером и не забывать об индивидуальных особенностях организма. Обязательно строго соблюдать предписанные дозировки и схемы приема добавок для спортивного питания, чтобы достичь желаемых результатов в спорте и главное, не навредить здоровью.

### Список литературы

1. Михайлов С. С. Спортивная биохимия. М.: Советский спорт, 2004.
2. Каталог наиболее популярных продуктов спортивного питания, М.: 2003. – 325 с.
3. Похачевский А. Л., Петров А. Б., Анкудинов Н. В. Восстановление физической работоспособности квалифицированных борцов-самбистов в годичном цикле подготовки // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. – 2011. – № 81 (11). – С. 126-130.
4. Мирзоев О. М. Восстановительные средства в системе подготовки спортсменов. – М.: Физкультура и спорт: СпортАкадемПресс, 2005.
5. Булатов, М. И. Аналитическая химия. Методы идентификации и определения веществ: Учебник / М. И. Булатов, А. А. Ганеев и др. – СПб.: Лань, 2019. – 584 с.

## НОВЫЙ РЕАГЕНТ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ РТУТИ (II) НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ПИРРОЛО[3,4-*c*]ПИРИДИНА

**Рамская Е.Н., Бардасов И.Н.**, канд. хим. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»,  
г. Чебоксары, РФ  
*ramskaya.katya@mail.ru*

Загрязнители окружающей среды, которые образуются в результате химических реакций в атмосфере или на земле, оказывают различное неблагоприятное воздействие на природу и ее обитателей. Среди загрязнителей можно выделить ионы тяжелых металлов, в частности ионы ртути (II). Загрязнение ртутью природных вод, почвы и пищевых продуктов является глобальной проблемой, которая вызывает необратимые заболевания, включая когнитивные нарушения и двигательные расстройства [1].

Для обнаружения и количественного определения ионов ртути (II) в объектах окружающей среды, природных и сточных водах нами предлагается аналитический реагент на основе производных пирроло[3,4-*c*]пиридина, синтезированных по следующей схеме (рис. 1) [2].

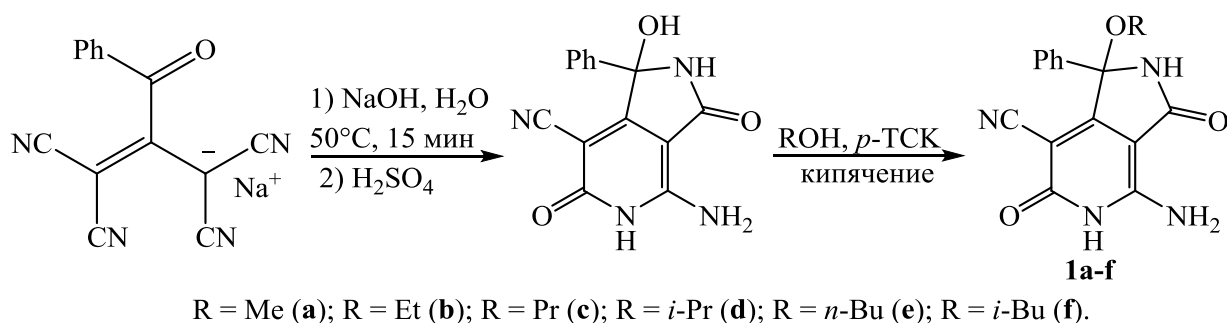


Рис. 1. Схема синтеза соединений **1a-f**

Исследование спектрально-люминесцентных свойств показало, что в присутствии ионов ртути наблюдается заметное тушение люминесценции (рис. 2). Наибольшее изменение интенсивности флуоресценции при добавлении ионов ртути наблюдалось для соединения **1e**, для которого были проведены более глубокие исследования.

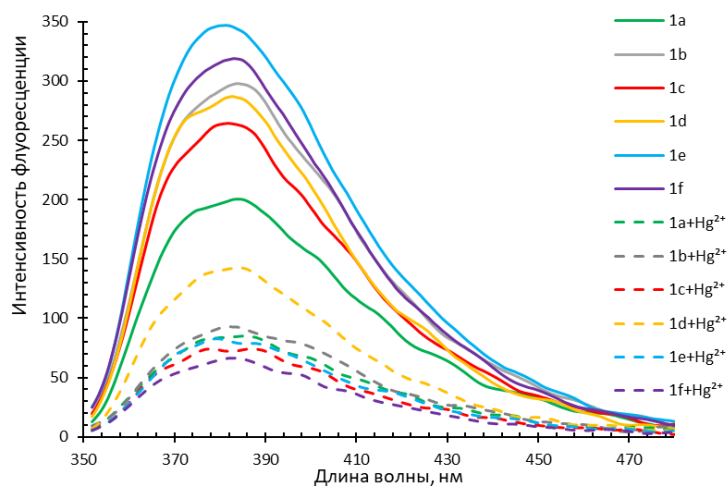


Рис. 2. Изменение интенсивности флуоресценции соединений **1a-f** при добавлении ионов ртути (II)

Была изучена селективность связывания ионов ртути соединением **1e**. С этой целью к растворам соединения **1e** добавляли растворы ионов различных металлов, таких как серебро ( $\text{Ag}^+$ ), ртуть ( $\text{Hg}^{2+}$ ), никель ( $\text{Ni}^{2+}$ ), медь ( $\text{Cu}^{2+}$ ), цинк ( $\text{Zn}^{2+}$ ), свинец ( $\text{Pb}^{2+}$ ), марганец ( $\text{Mn}^{2+}$ ) и кадмий ( $\text{Cd}^{2+}$ ). По полученным спектрам видно, что анализируемое соединение обладает высокой селективностью к ионам ртути (II) (рис. 3).

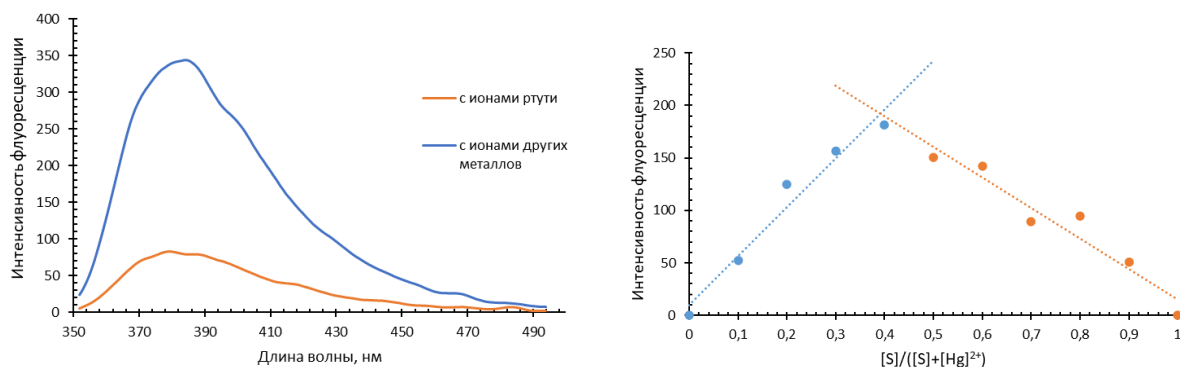


Рис. 3. Изменение интенсивность флуоресценции **1e** при добавлении ионов различных металлов (слева). Метод изомолярных серий для определения стехиометрического соотношения взаимодействия соединения **1e** с ионами ртути (II) (справа)

Проведя исследование на влияние pH, определили, что оптимальные значения составляют от 5 до 7, так как в данном диапазоне наблюдается наибольшее изменение интенсивности флуоресценции. Поэтому дальнейший анализ проводили в водном растворе MES (0,02 M, pH = 6,3).

Для определения стехиометрического взаимодействия аналитического реагента с ионами ртути (II) применяли метод изомолярных серий, по которому можно предположить, что взаимодействие происходит в соотношении 1:2 (рис. 3).

Также было проведено флуориметрическое титрование, которое показало, что при добавлении ионов ртути интенсивность флуоресценции

линейно снижается вплоть до двойного избытка ионов ртути (рис. 4). Предел обнаружения, согласно нашим вычислениям, составил  $8,1 \cdot 10^{-7}$  М.

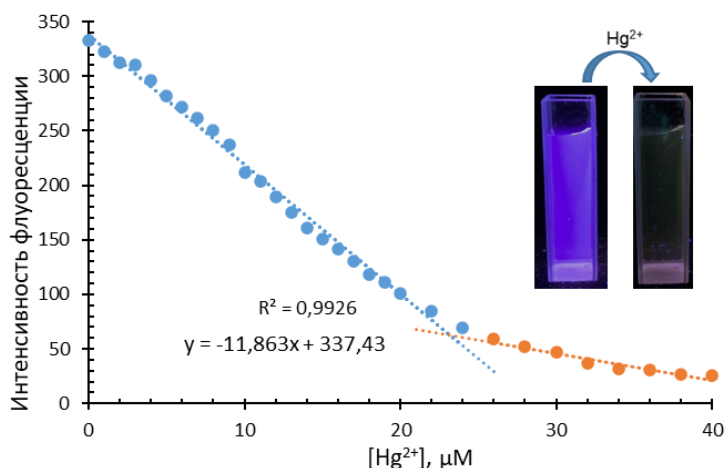


Рис. 4. Линейная зависимость между интенсивностью флуоресценции **Ie** и концентрацией ионов ртути (**II**)

Также были определены константа тушения при помощи уравнения Штерна–Фольмера и константа связывания с помощью уравнение Бенеси–Хильдебранда, которые составили  $4,62 \cdot 10^4$  М<sup>-1</sup> и  $7,28 \cdot 10^4$  М<sup>-1</sup> соответственно.

Таким образом, нами был исследован новый аналитический реагент на ионы ртути (**II**) на основе пирроло[3,4-*c*]пиридина, способный определять ее в микромолярных количествах. Оптимальные значения pH для проведения исследований составляют 5–7, что укладывается в физиологический диапазон значений pH.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-23-01025, <https://rscf.ru/en/project/22-23-01025/>).*

#### Список литературы

1. Al-Sulaiti, M.M. The Causes and Effects of Mercury and Methylmercury Contamination in the Marine Environment: A Review [Текст] / M.M. Al-Sulaiti, L. Soubra, M.A. Al-Ghouti // Curr. Pollut. Reports. Springer International Publishing, – 2022. – Vol. 8, № 3. – P. 249-272.
2. Каюков Я.С. Синтез 1-Алкокси-4-Амино-3,6-Диоксо-1-Фенил-2,3,5,6-Тetraгидро-1H-Пирроло[3,4-*C*]Пиридин-7-Карбонитрилов [Текст] / Я.С. Каюков, А.А. Григорьев, С.В. Карпов, О.В. Каюкова // Журнал Органической Химии. – 2020. – Vol. 56, – № 6. – P. 971-974.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ АТОМНО-АБСОРБЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РТУТИ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ПАРА В В ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДАХ И ПОЧВАХ**

*Рокун А. Н.*, канд. хим. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*kf.analit.chem@donnu.ru*

Накопление и переработка техногенных отходов способствуют загрязнению окружающей среды ртутью, что вызывает необходимость контроля содержания ртути в данных объектах. Эта проблема особенно актуальна для Донецкого региона, в котором находится одно из крупнейших в мире ртутных месторождений. Одним из наиболее чувствительных и селективных методов определения ртути является атомно-абсорбционный с применением техники холодного пара. В основном используются два способа подготовки проб при определении ртути: разложение проб с переводом всех форм ртути в окисленную двухвалентную, а также термодесорбция ртути непосредственно из образца с поглощением паров восстановленной ртути на золотом сорбенте с их последующей возгонкой. Недостатком методик, основанных на разложении проб, является их длительность. При использовании термодесорбции качество получаемых результатов зависит от содержания органических веществ, форм нахождения ртути.. Разработка более точных методов контроля требует принципиально новых подходов и поиска новых аналитических форм.

Разработана методика определения ртути в почвах и различных видах техногенных отходов: изгари цинковой, гартцинке, отходах угледобычи и углеобогащения, золошлаковых отходах. Методика исключает стадию растворения пробы, определение ртути проводится непосредственно из суспензии анализируемых проб и основано на восстановлении соединений ртути боргидридом натрия, отгонке образовавшейся атомарной ртути в поглотительный раствор, последующем атомно-абсорбционном определении ртути. Правильность методики доказана методом добавок и сравнением с результатами, полученными независимым методом. Методика является экспрессной, соответствует принципам «зеленой химии», позволяет исключить использование сертифицированных дорогостоящих стандартных образцов состава объектов, необходимых в любых неразрушающих методах контроля.

*Работа выполнена в рамках государственного задания № 102303110000-1-1.4.7.*

## ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ВОДАХ

*Щепина Н.Д.*, канд. хим. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*shnatalina@mail.ru*

**Введение.** Содержание алюминия в водах входит в перечень нормируемых показателей качества вод. Предельно допустимая концентрация (ПДК) растворённых ионных форм алюминия в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет 0,2 мг/дм<sup>3</sup>, рыбохозяйственного назначения – 0,04 мг/дм<sup>3</sup>.

Для оперативного химического анализа различных природных и технических объектов, особенно во внелабораторных условиях, используют различные тест-средства.

Одним из недостатков существующих методик является низкая чувствительность и точность визуального детектирования интенсивности окрашивания исследуемых образцов, поэтому разработка технологии более чувствительного количественного определения алюминия на основе цветометрического детектирования является актуальной задачей.

Цифровая цветометрия сочетает доступность визуальных тест-систем и хорошие метрологические характеристики инструментальных средств измерения [1].

**Целью работы** являлась разработка тест-методики для скринингового определения алюминия в водах питьевого и рыбохозяйственного назначения с улучшенными метрологическими характеристиками.

**Основная часть.** Ранее [2] нами были исследованы цветометрические характеристики комплексных соединений алюминия с органическими реагентами ксиленоловым оранжевым, пирокатехиновым фиолетовым, алюминоном, арсеназо I, хромазуолом S, нанесенными на хроматографическую бумагу. Было показано, что наибольшая чувствительность цветометрического определения наблюдается при использовании в качестве аналитической формы комплексного соединения алюминия с хромазуолом.

Проведенные исследования легли в основу разработки тест-методики определения алюминия в воде. В основу определения положено получение в оптимальных условиях окрашенного соединения алюминия с хромазуолом S на хроматографической бумаге, в присутствии маскирующих агентов для устранения мешающего влияния примесей.

Методика реализуется в двух вариантах:



1. Полуколичественное определение алюминия, основанное на визуальном сравнении интенсивности окраски пятна исследуемой пробы воды с контрольной шкалой, разработанной нами с применением цветометрии.

2. Количественное определение с использованием цветометрического детектирования.

Правильность методики доказана методом добавок и сравнением с результатами, полученными независимым методом.

Предел определения методики с визуальным детектированием –  $0,03 \text{ мг/дм}^3$ ,  $S_r = 0,2$ . Следует отметить значительное уменьшение относительного стандартного отклонение разработанной визуальной тест-методики ( $S_r = 0,2$ ) по сравнению с имеющимися аналогами ( $S_r = 0,3$ ). Этого удалось достичь благодаря разработанной на основе цветометрии контрольной колориметрической шкалы. Метрологические характеристики разработанной методики с цветометрическим детектированием не уступают стандартной фотометрической методике: предел обнаружения –  $0,005 \text{ мг/дм}^3$ ,  $S_r = 0,05$ .

**Заключение.** Таким образом, разработана простая, экспрессная, экономичная тест-методика определения алюминия в водах с улучшенными метрологическими характеристиками.

*Работа выполнена в рамках государственного задания № 102303110000-1-1.4.7.*

#### **Список литературы**

1. Иванов, В.М., Возможности и перспективы развития цветометрического метода в аналитической химии / О.В. Моногарова, К.В. Осколок // Журн. аналит. химии. – 2015. – Т. 70, № 10. – С. 1011–1025.
2. Ракитова, Р. Ю. Цветометрические характеристики комплексных соединений алюминия с органическими лигандами / Р. Ю. Ракитова, Н. Д. Щепина // Химические проблемы современности 2021: Сборник материалов V Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Донецк, 18–20 мая 2021 года. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2021. – С. 46–49.

# Биохимия и органическая химия

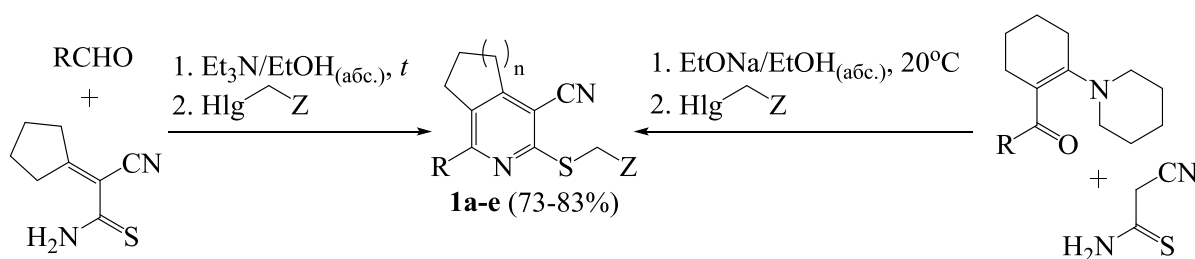
УДК 547.833.3

## ТРЁХКОМПОНЕНТНЫЕ СИНТЕЗЫ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДНЫХ ЦИКЛОАЛКА[с]НИКОТИНОНИТРИЛА

Арцебашева М.Э., Королёва С.В., Савченко Т.М.,  
Дяченко И.В., канд. хим. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск, РФ  
ivladya87@mail.ru

Производные циклоалка[с]аннелированного пиридина интенсивно и всесторонне исследуются в связи с их возможным использованием при создании препаратов медицинского, сельскохозяйственного и технического назначения [1]. В связи с этим разработка удобных методов синтеза данного класса органических соединений является актуальной задачей на сегодняшний день. Нами предложены два варианта трёхкомпонентной сборки замещённых циклоалка[с]никотинонитрилов **1a-e**. Первый состоит в конденсации циклопентилиденцианотиоацетамида и ароматических альдегидов с последующим добавлением в реакционную среду алкилирующих реагентов, в результате чего синтезированы функционализированные циклопента[с]никотинонитрилы **1a,b**. Реакция протекает при кипячении с обратным холодильником в абсолютном этаноле в присутствии триэтиламина. Второй метод основан на последовательности реакций: нуклеофильное винильное замещение ( $S_NVin$ ), внутримолекулярная циклизация и алкилирование. Взаимодействие замещённых енаминов, цианотиоацетамида и алкилгалогенидов проводилось в мягких условиях с образованием замещённых тетрагидроизохинолинов **1b-e** (схема 1) [2].



1,  $n = 1$ ,  $R = Ph$ ,  $Z = 4\text{-MeOC}_6\text{H}_4\text{NHCO}$  (**a**); 1, фур-2-ил, кумарин-3-илкарбонил (**b**);  
2,  $Ph$ ,  $\text{CONH}_2$  (**b**); 2,  $Ph$ ,  $\text{CN}$  (**r**); 2,  $i\text{-Pr}$ ,  $4\text{-BrC}_6\text{H}_4\text{NHCO}$  (**d**); 2,  $i\text{-Pr}$ ,  $4\text{-BrC}_6\text{H}_4\text{CO}$  (**e**).

Схема 1. Трёхкомпонентные синтезы производных циклоалка[с]никотинонитрила.

Благодаря компьютерной программе PASS (Prediction of Activity of Spectra for Substance) [3] мы спрогнозировали целевую и нежелательную биологическую активность синтезированных соединений **1a-e** (таблица 1).

Данные виртуального скрининга синтезированных соединений ( $P_a > 0.5$ ).  
 $P_a$  – вероятность наличия активности;  $P_i$  – вероятность отсутствия активности

Соединение	$P_a$	$P_i$	Активность
<b>1a</b>	0.734	0.003	Neuropeptide Y2 antagonist
	0.639	0.005	Transcription factor inhibitor
	0.608	0.008	Atherosclerosis treatment
	0.564	0.032	Insulysin inhibitor
<b>1б</b>	0.714	0.004	Transcription factor inhibitor
	0.651	0.004	Neuropeptide Y2 antagonist
	0.610	0.003	Focal adhesion kinase 2 inhibitor
	0.620	0.021	Insulysin inhibitor
	0.604	0.011	CYP2A11 substrate
	0.585	0.010	Atherosclerosis treatment
<b>1в</b>	0.655	0.005	Atherosclerosis treatment
	0.651	0.004	Neuropeptide Y2 antagonist
	0.654	0.015	Insulysin inhibitor
	0.593	0.031	Neurotransmitter uptake inhibitor
	0.579	0.025	Alopecia treatment
	0.570	0.026	Antianginal
<b>1г</b>	0.673	0.015	Neurotransmitter uptake inhibitor
	0.616	0.008	Atherosclerosis treatment
	0.590	0.022	Alopecia treatment
	0.570	0.008	Neuropeptide Y2 antagonist
<b>1д</b>	0.670	0.004	Transcription factor inhibitor
	0.597	0.009	Atherosclerosis treatment
	0.593	0.005	Neuropeptide Y2 antagonist
	0.558	0.009	Muscular dystrophy treatment
<b>1е</b>	0.637	0.005	Transcription factor inhibitor
	0.616	0.008	Atherosclerosis treatment
	0.565	0.013	HERG 1 channel blocker

Таким образом, с учетом полученных результатов виртуального скрининга можно говорить о перспективности и важности дальнейшего всестороннего химико-биологического изучения производных циклоалка[с]никотинонитрила.

### Список литературы

1. Дяченко, И.В. Производные алицикло[с]аннелированного пиридина. Методы синтеза и химические свойства / И.В. Дяченко, В.Д. Дяченко // Журнал органической химии. – 2017. – Т. 53, № 12. – С. 1735–1754. – DOI: 10.1134/S1070428017120016
2. Дяченко, И.В. Новые синтезы производных циклоалка[с]никотиноамида и нитрила / И.В. Дяченко, В.Д. Дяченко, П.В. Дороватовский, В.Н. Хрусталева, Г.М. Абакаров, В.Г. Ненайденко // Журнал органической химии. – 2023. – Т. 59, № 6. – С. 734–746. – DOI: 10.31857/S0514749223060022
3. Филимонов, Д.А. Предсказание спектров биологической активности органических соединений с помощью веб-ресурса PASS online / Д.А. Филимонов, А.А. Лагунин, Т.А. Глориозова, А.В. Рудик, Д.С. Дружиловский, П.В. Погодин, В.В. Поройков // Химия гетероциклических соединений. – 2014. – Т. 49, № 3. – С. 483–499. – DOI: 10.1007/s10593-014-1496-1

## **ВЛИЯНИЕ СТРОЕНИЯ ГОЛОВНОЙ ГРУППЫ, ДЛИНЫ АЛКИЛЬНОГО «ХВОСТА» И ПРИРОДЫ СПЕЙСЕРА НА МИЦЕЛЛЯРНЫЕ ЭФФЕКТЫ КАТИОННЫХ ДИМЕРНЫХ ДЕТЕРГЕНТОВ В ПРОЦЕССАХ РАЗЛОЖЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ АНАЛОГОВ ЭКОТОКСИКАНТОВ**

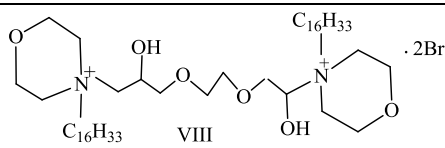
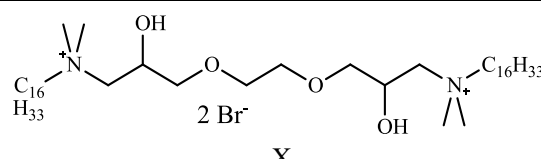
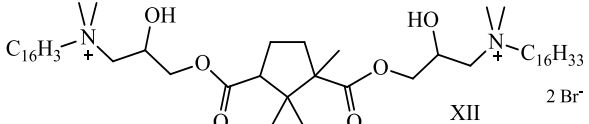
*Белюсова И.А.*, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.,  
*Прокопьева Т.М.*, канд. хим. наук, ст. науч. сотр., *Разумова Н.Г.*,  
*Котенко А.А.*, *Михайлов В.А.*, канд. хим. наук  
ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии  
им. Л.М.Литвиненко», г. Донецк, РФ  
*ninarazumova45@gmail.com*

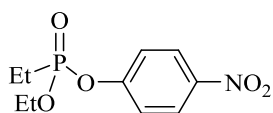
Димерные поверхностно-активные вещества, состоящие из двух мономерных молекул ПАВ с двумя головными группами, ковалентно связанными через гибкий или жесткий мостиковый фрагмент (спейсер; Gemini surfactant – GS), обладают уникальными физико-химическими свойствами, что делает эти системы особенно привлекательными для практического использования. При этом основными направлениями модификации GS являются изменение архитектуры полярной головной группы и алкильного «хвоста», а также варьирование структуры спейсера. Среди димерных ПАВ широкое применение получили катионные GS как основа организованных микрогетерогенных систем (ОМС) для разложения экотоксикантов, в том числе, фосфорорганических соединений (ФОС). Наиболее простой подход к конструированию таких ОМС – гидролитические реакции с участием гидроксид-иона. В ОМС щелочной гидролиз можно проводить в «мягких» условиях (кислотность среды, температура, концентрация реагентов) и успешно реализовать быстрое и необратимое разложение ФОС. Более того использование ОМС позволяет решить еще одну важную задачу – солубилизацию малорастворимых в воде субстратов.

В настоящей работе рассмотрена взаимосвязь структуры GS I–XII и мицеллярных эффектов в процессах щелочного гидролиза 4-нитрофениловых эфиров диэтилфосфоновой (NPDEPN), диэтилфосфорной (NPDEP) и толуолсульфоновой (NPOTos) кислот.

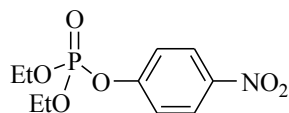
Детальный анализ кинетических данных в рамках подхода «структура–ПАВ/субстрат–свойство» дает возможность установить факторы, контролирующие мицеллярные эффекты GS.

1. Исследованные GS характеризуются аномально низкими критическими концентрациями мицеллообразования (ср. Ia – VIIa и VIII – XII ~  $10^{-6}$ – $10^{-5}$ М, СТАВ  $2 \cdot 10^{-4}$ М). Это позволяет реализовать одни и те же скорости щелочного гидролиза при концентрации GS на порядок меньших, чем в случае мономерных ПАВ.

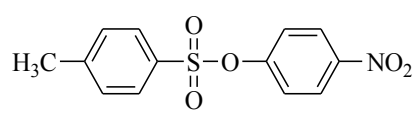
$\begin{array}{c} \diagup \text{N}^+ \text{---} \text{M} \text{---} \text{N}^+ \diagdown \\   \quad   \\ \text{Alk} \quad \text{Alk} \end{array} \cdot 2\text{Br}^-$ <p>I, II</p> <p>M = -(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-; Alk = C<sub>16</sub>H<sub>33</sub> (Ia), C<sub>14</sub>H<sub>29</sub> (Ib), C<sub>12</sub>H<sub>25</sub> (Ic), C<sub>10</sub>H<sub>21</sub> (Id)</p> <p>M = -(CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>-; Alk = C<sub>16</sub>H<sub>33</sub> (II)</p>	$\text{Alk} \text{---} \text{N}^+ \text{---} (\text{CH}_2)_m \text{---} \text{N}^+ \text{---} \text{Alk} \cdot 2\text{Br}^-$ <p>III-V</p> <p>M = -(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>-; Alk = C<sub>16</sub>H<sub>33</sub> (IIIa), C<sub>14</sub>H<sub>29</sub> (IIIb), C<sub>12</sub>H<sub>25</sub> (IIIc), C<sub>10</sub>H<sub>21</sub> (IIId)</p> <p>M = -(CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>-; Alk = C<sub>16</sub>H<sub>33</sub> (IVa), C<sub>14</sub>H<sub>29</sub> (IVb), C<sub>12</sub>H<sub>25</sub> (IVc), C<sub>10</sub>H<sub>21</sub> (IVd)</p> <p>M = -(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>-; Alk = C<sub>16</sub>H<sub>33</sub> (Va), C<sub>14</sub>H<sub>29</sub> (Vb), C<sub>12</sub>H<sub>25</sub> (Vc), C<sub>10</sub>H<sub>21</sub> (Vd)</p>
$\text{---} \text{N}^+ \text{---} \text{N}^+ \text{---} \text{CH}_3 \cdot \text{Br}^-$ <p>VI</p> <p>Alk = C<sub>16</sub>H<sub>33</sub> (VIa), C<sub>14</sub>H<sub>29</sub> (VIb), C<sub>12</sub>H<sub>25</sub> (VIc)</p>	$\text{C}_{16}\text{H}_{33} \text{---} \text{N}^+ \text{---} \text{Br}^-$ <p>CTAB</p>
$\text{Alk} \text{---} \text{N}^+ \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{N}^+ \text{---} \text{Alk} \cdot 2\text{Cl}^-$ <p>VII</p> <p>Alk = C<sub>14</sub>H<sub>29</sub> (VIIa), C<sub>12</sub>H<sub>25</sub> (VIIb)</p>	 <p>VIII</p>
$\text{C}_{16}\text{H}_{33} \text{---} \text{N}^+ \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH}(\text{OH}) \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH}(\text{OH}) \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{N}^+ \text{---} \text{C}_{16}\text{H}_{33} \cdot 2\text{Br}^-$ <p>IX</p>	 <p>X</p>
$\text{C}_{16}\text{H}_{33} \text{---} \text{N}^+ \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{CH}(\text{OH}) \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{N}^+ \text{---} \text{C}_{16}\text{H}_{33} \cdot 2\text{Br}^-$ <p>XI</p>	 <p>XII</p>



NPDEPN



NPDEP



NPOTos

2. Увеличение длины алкильного заместителя, независимо от природы катионного фрагмента, сопровождается и ростом наблюдаемых констант скорости ( $k_{\text{obs}}, \text{s}^{-1}$ , см. рис.1). Следовательно, чем длинней алкильный «хвост», тем более значительными становятся гидрофобные взаимодействия, способствующие агрегации молекул GS, мицеллообразованию и солубилизации субстрата.

3. Эффективность мицеллярного катализа ОМС на основе GS зависит от структуры мостикового звена, что находит свое отражение в морфологии мицелл. В случае метиленового спейсера образование сферических мицелл при  $n=4$  (рис. 2) обуславливает более высокую скорость разложения субстратов в ОМС на основе этих ПАВ (GS V).

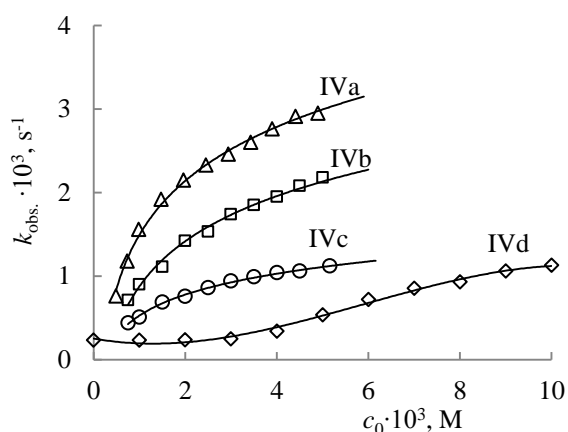


Рис. 1. Зависимость наблюдаемых констант скорости  $k_{\text{obs}}$ ,  $\text{s}^{-1}$  от концентрации GS ( $c_0$ , M) для щелочного гидролиза NPDEPN: GS IV (a–d); pH 11.0, вода, 25°C.

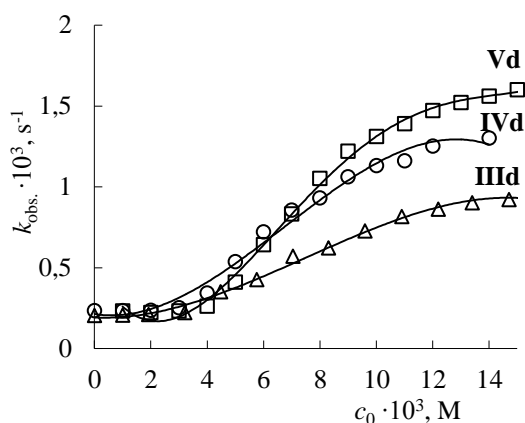


Рис. 2. Зависимость наблюдаемых констант скорости  $k_{\text{obs}}$ ,  $\text{s}^{-1}$  от концентрации GS ( $c_0$ , M) для щелочного гидролиза NPDEPN: GS III d, IV d, V d; pH 11.0, вода, 25°C.

4. Функционализация мостикового звена гидроксильными (или сложноэфирными группами) GS VII–XII и реализация дополнительных межмолекулярных взаимодействий между молекулами воды и гидроксильным фрагментом способствует насыщению мицеллярной псевдофазы молекулами воды и более эффективному концентрированию  $\text{HO}^-$ -иона. Такие взаимодействия и обеспечивают высокую скорость разложения субстратов (рис. 3).

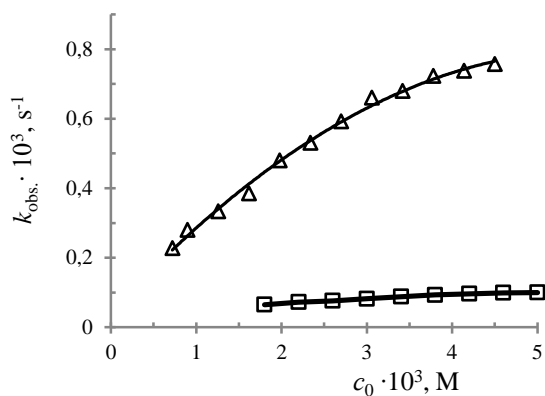


Рис. 3. Зависимость наблюдаемых констант скорости ( $k_{\text{obs}}$ ,  $\text{s}^{-1}$ ) от концентрации ПАВ: GS VII b –  $\Delta$ , GS IV c –  $\square$ ; pH 11.0, вода, 25°C.

напрямую связаны с гидрофобностью субстрата и ПАВ, и таковые находят свое отражение в эффектах концентрирования субстрата в мицеллярной псевдофазе. Именно этот фактор является определяющим в величине мицеллярного катализа.

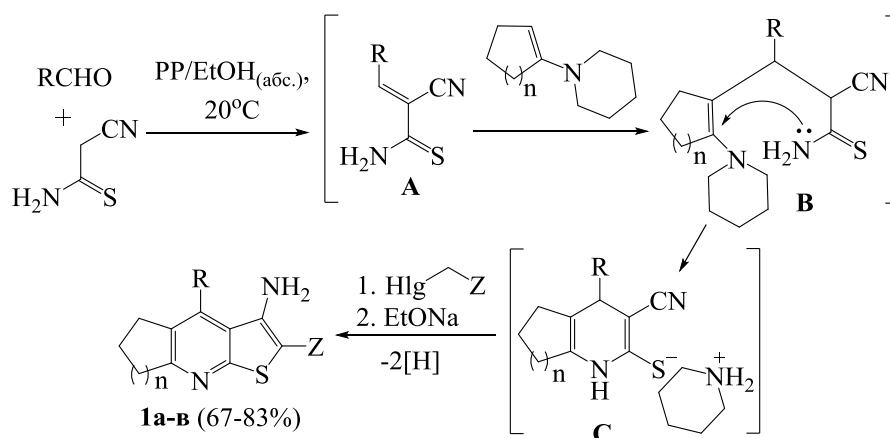
Мицеллярный катализ в ОМС является следствием концентрирования реагентов в мицеллярной псевдофазе, влиянием микроокружения на нуклеофильные и электрофильные характеристики участников процесса, ориентации молекул субстрата, солюбилизированных мицеллами детергентов. Значимость каждого из них определяется нековалентными взаимодействиями и, прежде всего, гидрофобными. Последние

## МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ СИНТЕЗ ЗАМЕЩЕННЫХ ЦИКЛОАЛКА[*b*]ТИЕНО[2,3-*e*]ПИРИДИНОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

*Веремеенко К.Г., Головашов М.М., Мамедгусейнова А.В.,  
Моисеева И.А., Дяченко В.Д., д-р хим. наук, проф.*

ФГБОУ ВО «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск, РФ  
*dyachvd@mail.ru*

Многокомпонентные конденсации представляют собой перспективное направление практической органической химии ввиду высокой экономии атомов, энергии, времени, катализаторов и растворителей в данных взаимодействиях [1]. Среди широко применимых полифункциональных реагентов в многокомпонентных реакциях особое место занимает  $\alpha$ -цианотиоацетамид [2, 3]. Мы применили его для синтеза перспективных с биологической точки зрения функционализированных циклоалка[*b*]тиено[2,3-*e*]пиридинов **1a-в**. Процесс получения данных соединений включает образование алкенов Кнёвенагеля **A** из ароматических альдегидов и цианотиоацетамида. Далее реализуется алкилирование енаминов алкенами по Сторку, что приводит к интермедиатам **B**. Последние претерпевают внутримолекулярное переаминирование с формированием солей **C**. После этого происходит региоселективное алкилирование, а дальнейшее повышение основности (EtONa/EtOH) способствуют образованию конечных производных циклоалка[*b*]тиено[2,3-*e*]пиридина **1a-в** (схема 1) [4].



1,  $n = 2$ ,  $R = 4\text{-MeOC}_6\text{H}_4$ ,  $Z = 4\text{-MeOC}_6\text{H}_4\text{NHCO}$  (**a**); 1,  $4\text{-ClC}_6\text{H}_4$ ,  $\text{CONH}_2$  (**б**); 1,  $4\text{-}i\text{-PrC}_6\text{H}_4$ ,  $\text{COOEt}$  (**в**).  
Схема 1. Многокомпонентный синтез замещенных циклоалка[*b*]тиено[2,3-*e*]пиридинов.

Далее мы спрогнозировали целевую и нежелательную биологическую активность полученных соединений **1a-в** при помощи веб-ресурса PASS Online [5] (таблица 1).

Таблица 1

Соединение	$P_a$	$P_i$	Активность
<b>1a</b>	0.654	0.005	Transcription factor STAT3 inhibitor
	0.603	0.006	Transcription factor STAT inhibitor
	0.569	0.036	Calcium channel (voltage-sensitive) activator
	0.505	0.008	Focal adhesion kinase 2 inhibitor
	0.504	0.014	Neuropeptide Y2 antagonist
<b>1б</b>	0.635	0.002	I kappa B kinase 2 inhibitor
	0.579	0.003	Antiviral (Hepatitis B)
	0.556	0.018	Autoimmune disorders treatment
	0.513	0.006	Antiinfertility, female
	0.530	0.036	Trans-acenaphthene-1,2-diol dehydrogenase inhibitor
<b>1в</b>	0.615	0.079	Antieczematic
	0.530	0.005	Amyloid beta precursor protein antagonist
	0.516	0.039	Antianginal
	0.509	0.072	Calcium channel (voltage-sensitive) activator

Таблица 1. Данные виртуального скрининга синтезированных соединений ( $P_a > 0.5$ ).  
 $P_a$  – вероятность наличия активности;  $P_i$  – вероятность отсутствия активности.

По результатам скрининга можно предположить вероятность применения функционализированных циклоалка[*b*]тиено[2,3-*e*]пиридинов в качестве противоэцзематических средств, а также ингибиторов транскрипционного фактора STAT3 и I-каппаВ киназы-2.

### Список литературы

1. Ненайденко, В.Г. На пути к молекулярной сложности. Многокомпонентные реакции, включающие пять и более компонентов / В.Г. Ненайденко // Успехи химии. – 2020. – Т. 89, № 11. – С. 1274–1336. – DOI: 10.1070/RCR5010
2. Дяченко, В.Д. Цианотиоацетамид – полифункциональный реагент с большими синтетическими возможностями / В.Д. Дяченко, И.В. Дяченко, В.Г. Ненайденко // Успехи химии. – 2018. – Т. 87, № 1. – С. 1–27. – DOI: 10.1070/RCR4760
3.  $\alpha$ -Цианотиоацетамид / А.М. Магеррамов, Н.Г. Шихалиев, В.Д. Дяченко, И.В. Дяченко, В.Г. Ненайденко. – Москва : Техносфера, 2018. – 224 с. – ISBN 978-5-94836-510-7
4. Многокомпонентный синтез циклоалка[*b*]пиридинов и пиранов / И.В. Дяченко, В.Д. Дяченко, П.В. Дороватовский, В.Н. Хрусталева, В.Г. Ненайденко // Журнал органической химии. – 2023. – Т. 59, № 7. – С. 920–934. – DOI: 10.31857/S0514749223070066
5. Предсказание спектров биологической активности органических соединений с помощью веб-ресурса PASS online / Д.А. Филимонов, А.А. Лагунин, Т.А. Глориозова, А.В. Рудик, Д.С. Дружиловский, П.В. Погодин, В.В. Поройков // Химия гетероциклических соединений. – 2014. – Т. 49, № 3. – С. 483–499. – DOI: 10.1007/s10593-014-1496-1



## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ОТДЕЛЕНИЯ АЗОТА В СИСТЕМЕ $N_2$ - $CH_4$

*Гасило Л.В., Дедовец И.Г.*, канд. техн. наук  
ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, РФ  
*gasilolud@yandex.ru*

**Введение.** Совершенствование технологий транспортировки, обнаруженные значительные запасы, снижение затрат на разработку и экологическая устойчивость — все это дает основание считать, что природный газ, в частности метан, останется одним из главных источников энергии в ближайшем будущем.

Удаление  $N_2$  имеет большое значение для промышленного производства и использования метана. Поэтому удаление азота и стало предметом исследований.

**Основная часть.** Будь то трубопроводный транспорт или доставка танкерами, можно транспортировать природный газ, содержащий 75–95 % метана, где присутствует небольшое количество загрязняющего вещества  $N_2$ , концентрация которого может достигать от 5 до 15% [1]. Однако даже очень низкое содержание  $N_2$  существенно негативно повлияет на качество природного газа.

Азот является не токсичным и негорючим газом, не способствует коррозии. Наличие азота отрицательно влияет на теплоту сгорания смеси газов, выводит его из стандартного диапазона индекса Воббе и требований к газовому продукту. Кроме того, присутствие азота сказывается на стоимости перекачки газовой смеси и размерах оборудования, такого как компрессоры и трубопроводы. Согласно ГОСТам конечное значение концентрации азота после очистки должно быть меньше 1%.

И метан, и азот представляют собой устойчивые к химическим воздействиям газы, что является серьезной проблемой для разделения их в системе  $N_2$  -  $CH_4$ . Также селективного отделения азота от метана добиться сложно из-за почти одинакового критического диаметра молекул  $N_2$  и  $CH_4$  (3,64 Å и 3,80 Å соответственно) [2].

Разделение газов – процесс, который может осуществляться фракционной конденсацией (охлаждением, сопровождающимся образованием конденсированных систем), ректификацией, сорбцией селективными абсорбентами и адсорбентами, а также диффузией через пористые перегородки (мембранное газоразделение) и др. Наиболее широко в промышленности применяется конденсация в сочетании с сорбцией и ректификацией при низких температурах.

К настоящему времени для отделения азота от метана используются несколько методов: мембранное разделение, криогенная технология, твердофазная адсорбция, и др. [3]. Большие скорости потока газа при криогенной перегонке позволяют покрыть высокие капитальные затраты на криогенную установку в течение нескольких лет, что наиболее актуально для крупных заводов.

Сложность эффективного разделения  $N_2$  -  $CH_4$  связана со следующими факторами. Во-первых, из-за сходного критического диаметра между  $N_2$  и  $CH_4$  трудно разработать материалы с точным размером пор для эффективного молекулярного сита. Во-вторых, обязательное наличие интенсивного броуновского движения делает практически невозможным контроль угла, под которым молекулы газа входят в поры материалов. Кроме того, различия в конденсированности и поляризуемости не способствуют  $N_2$ -селективному разделению. Более высокая поляризуемость и критическая температура  $CH_4$  приводят к более сильному взаимодействию с большинством материалов, таким образом, препятствуя преимущественной адсорбции и проникновению  $N_2$  [4].

Для адсорбции при переменном давлении и технологий мембранного разделения, в соответствии с приоритетом газовых соединений, процессы разделения  $N_2$  -  $CH_4$  можно рассортировать на  $N_2$  - селективные процессы и  $CH_4$  - селективные процессы.

Известные мембраны и адсорбенты, используемые при отделении азота, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Мембраны и адсорбенты, используемые при отделении азота

Адсорбционное разделение	Мембранное разделение
Clinoptilolites	CHA zeolites
$V_2Cl_{2.8}$ (btdd)	Carbon molecular sieve
ETS-4	Polymers
Cr-MOFs	ZIF
Trapdoor zeolites	CPO-8-BPY
	Zr-fum <sub>67</sub> -mes <sub>33</sub> -fcu-MOF

Адсорбция и газоразделение на основе гидратов являются наименее исследованными и используемыми технологиями на данный момент. Трудности при работе с твердой фазой гидратов значительно удорожают и усложняют процесс.

Процесс адсорбции проводится минеральными маслами, например, прямогонной нефтью или парафиновым маслом, по существу, состоящими из алканов, с последующим выпуском непоглощенного азота. При этом большую роль имеют молекулярные свойства  $N_2$  и  $CH_4$ , включающие

различия в кинетическом диаметре, поляризуемости, квадрупольном и дипольном моментах молекул. Абсорбцию в основном проводят при комнатной температуре и при давлении, равном давлению поступающего природного газа, в тарельчатых колоннах или колоннах с насадкой, где башенная насадка предпочтительно размещена упорядоченно, а не случайным образом [5].

**Заключение.** Отделение азота от метана является трудной задачей при использовании любой технологии, но без этого невозможно достичь необходимого качества продукта и увеличить эффективность работы оборудования. Необходимо искать новые методы и материалы для отделения азота от метана с высокой селективностью и эффективностью, а также совершенствовать существующие. Наиболее перспективным на наш взгляд является абсорбция с подбором эффективного и не дорогостоящего абсорбента. На данном этапе мы ведем исследования в этом направлении.

### Список литературы

1. Rufford, T. E., Smart, S., Watson, G. C. Y., Graham, B. F., Boxall, J., Diniz da Costa, J. C., & May, E. F. The removal of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> from natural gas: A review of conventional and emerging process technologies / *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 94-95, 2012. - p. 123–154 - doi:10.1016/j.petrol.2012.06.016.
2. Ohs, B., Lohaus, J., & Wessling, M. Optimization of membrane based nitrogen removal from natural gas / *Journal of Membrane Science*, 498, 2016. – p. 291–301 - DOI: 10.1016/j.memsci.2015.10.007.
3. Lokhandwala, K. A., Pinnau, I., He, Z., Amo, K. D., DaCosta, A. R., Wijmans, J. G., & Baker, R. W. Membrane separation of nitrogen from natural gas: A case study from membrane synthesis to commercial deployment / *Journal of Membrane Science*, 346(2), 2016. - p. 270–279.
4. Sun, Q., Wang, M., Li, Z., Li, P., Wang, W., Tan, X., & Du, A. Nitrogen removal from natural gas using solid boron: A first-principles computational study. *Fuel*, 109, 2013. – P. 575–581, doi:10.1016/j.fuel.2013.03.032.
5. Чиккарелли Л. Способ удаления азота из природного газа / Патент на изобретение RU 2185226 C2, 20.07.2002. Заявка № 2000103939/12 от 18.02.2000.

## СИНТЕЗ И АНТИДОТНАЯ АКТИВНОСТЬ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ НА ОСНОВЕ 5-АМИНО-3- (ЦИАНОМЕТИЛ)-1Н-ПИРАЗОЛ-4-КАРБОНИТРИЛА

*Долганов А.А., Чикава А.Р.,*

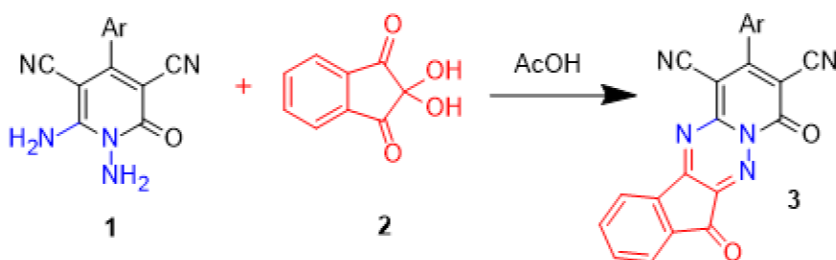
*Доценко В.В.*, д-р хим. наук, проф.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар, РФ  
*s.f-step@mail.ru*

**Введение.** Замещенные 1,6-диамино-2-оксо-1,2-дигидропиридин-3,5-дикарбонитрилы **1**, легко доступные в результате трехкомпонентной конденсации цианоацетидразида с малонитрилом и альдегидами, являются удобными исходными реагентами для получения широкого спектра полиазагетероциклов с мостиковым азотом [1,2]. Наличие двух аминогрупп в структуре молекулы 1,6-диамино-4-арил-2-оксо-1,2-дигидропиридин-3,5-дикарбонитрила открывает богатые синтетические возможности для использования соединений в качестве субстрата в реакциях гетероциклизации [1]. В результате таких реакций следует ожидать образования новых гетероциклических продуктов.

**Цель** нашей работы – получение новых производных производные дигидроиндено[1,2-е]пиридо[1,2-б][1,2,4]триазинов **3** и изучение их биологической активности.

**Основная часть.** При обработке соединений **1** небольшим избытком избытком нингидрина **2** в растворе уксусной кислоты были получены соединения **3**. Продукты представляют собой ярко-красные порошки, легко растворимые в ацетоне и этилацетате.



Строение соединения **3** установлено на основании анализа данных ИК и ЯМР-спектров.

Для продуктов реакции были спрогнозированы возможные протеиновые мишени с использованием нового протокола протеин-лигандного докинга GalaxySagittarius на базе веб-сервера GalaxyWeb. Исходя из полученных данных можно заметить, для полученного соединения наиболее выражено сродство к ингибиторам киназы, что

указывает на перспективность поиска среди соединений такого типа противоопухолевых агентов.

**Заключение.** Исходя из доступных 4-арил-1,6-диамино-2-оксо-1,2-дигидропиридин-3,5-дикарбонитрилов **1** были получены соединения дигидроиндено[1,2-е]пиридо[1,2-б][1,2,4] с потенциальным биологическим действием.

#### Список литературы

1. Ibrahim M.A., El-Gohary N.M. Heterocyclization with Some Heterocyclic Diamines: Synthetic Approaches for Nitrogen Bridgehead Heterocyclic Systems // Heterocycles. 2014. Vol. 89. № 5. P. 1125-1157.
2. Soto J.L., Seoane C., Zamorano P., Cuadrado F.J. A convenient synthesis of N-amino-2-pyridones // Synthesis. 1981. № 7. P. 529-530.

УДК 614.8.084

### АНАЛИЗ ДЕЙСТВИЯ ГАЗОВ СО И Н<sub>2</sub>S И ОЦЕНИВАНИЕ ИХ ОПАСНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ «ВОЗДЕЙСТВИЕ – ОСЛАБЛЕНИЕ – ВОСПРИИМЧИВОСТЬ»

*Есипов Ю.В.*, д-р. техн. наук, проф., *Бухезна Б.Э.*,  
*Черемисин А.И.*, канд. техн. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет,  
Ростов-на-Дону, РФ»  
*yu-yesipov5@yandex.ru*

**Постановка задачи.** Для решения задачи используем логико-вероятностный метод оценки показателей безопасности и риска [1,2], который основан на вероятностной параметрической модели «воздействие – ослабление – восприимчивость» и критерии вида: если «воздействие» больше «восприимчивости», то наступает один из исходов: «или нарушение работоспособности или отравление или летальный исход». В рамках этой модели предполагается, что случайные параметры воздействия, ослабления и восприимчивости распределены по нормальному закону. При этом зависимости математического ожидания среднеквадратического отклонения случайных параметров от коэффициента ослабления являются монотонными. При введенных допущениях для выбранного множества вредных веществ строятся и применяются «унифицированные» линейки значений показателей восприимчивости работников к исходам типа «нарушение работоспособности – отравление – летальный исход» [3]. При такой

постановке «измерение» опасности сводится к измерению параметров воздействия на работника («здесь» и «сейчас») и к сравнению случайных величин параметров модели. Результатом такого количественного сравнительного анализа является расчет вероятностей исходов на возможных различных уровнях воздействия на работника.

**Конкретизация задачи.** Анализ опасности действия газов CO и H<sub>2</sub>S основан на выявлении и описании значений доз [4], характеризующих степени поражения работника, см. Таблицу 1, и оценивания их опасности с помощью вероятностной параметрической модели «воздействие – ослабление – восприимчивость». При использовании известных исходных данных предложен и апробирован алгоритм расчета вероятности удушья или летального исхода в функции от коэффициента ослабления газов защитой.

Было выбрано три уровня (степени) поражения работников в зависимости от величины концентрации газов CO и H<sub>2</sub>S, таблица 1.

Таблица 1

Линейка исходов поражения работников при уровнях концентрации газов CO и H<sub>2</sub>S

Степень поражения	Монооксид углерода [CO]	Сероводород (H <sub>2</sub> S)
	Токсическая доза, (ppm)	Токсическая доза, (ppm)
Пороговая	50	50
Поражающая	150	250
Смертельная	600	1000

Параметры непосредственного воздействия газов (CO, H<sub>2</sub>S) на работника определяли по зависимости [1]

$$s = f \cdot v, \quad (1)$$

где параметры  $s$  и  $v$  имеют размерность концентрации,

параметр  $f$  — безразмерный коэффициент ослабления.

Используя значения параметров воздействия и восприимчивости токсичного действия газов (CO, H<sub>2</sub>S) на работника при летальном исходе в модельном примере [3. рис. 3], были найдены следующее значение приведенного параметрического запаса безопасности:

$$u(f) = ((m_s - m_r) / (\sigma_r^2 + \sigma_s^2)^{0,5}) \quad (2)$$

$$\text{Для CO: } Z_{B1} = (1200-600) / (100^2 + 200^2)^{0,5} = 2,683;$$

$$\text{Для H}_2\text{S: } Z_{B2} = (1500-1000) / (166,6667^2 + 250^2)^{0,5} = 1,664.$$

Расчет вероятности наступления возможных исходов с помощью функции Лапласа был произведен по алгоритму [1]. Применительно к летальному исходу и с учетом того, что параметр воздействия превышает параметр восприимчивости, т.е.  $m_s > m_r$ , для расчета вероятности использована следующая зависимость:

$$P_{\text{ЛИ}} = \text{Pro}(z > 0) = 0,5 + \Phi((m_s - m_r) / (\sigma_r^2 + \sigma_s^2)^{0,5}) \quad (3)$$

где  $z$  – переменная, которая распределена по нормальному закону с математическим ожиданием  $m_z = m_s - m_r$ ,  $z = s - r$ .

Полученные результаты представлены в Таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Исходные данные и результаты расчета вероятности исходов при действии угарного газа CO и сероводорода H<sub>2</sub>S

CO	H <sub>2</sub> S			
	$m_s > m_r$		$m_r > m_s$	
$m_s$	1200		1200	
$f$	1	0,6	0,4	0,1
$m_s \cdot f$	1200	720	480	120
$\Delta_s$	200	120	80	20
$Z_B$	2,6833	0,768	0,937	4,70678
$P_{ли}$	0,9963	0,7794	0,1736	0,000003

Таблица 3

Вероятность наступления исходов в функции от коэффициента ослабления  $f$

	удушье	летальный исход	удушье	летальный исход
	$P_2^{CO}$	$P_3^{CO}$	$P_2^{H_2S}$	$P_3^{H_2S}$
$f = 1$	0,9998	0,9963	0,99999	0,9515
$f = 0.6$	0,997	0,7794	0,99996	0,3264
$f = 0.4$	0,99	0,1736	0,99	0,0197
$f = 0.1$	0,1736	0,000003	0,0197	0,00001

**Полученные результаты и выводы.** Апробирована по степени опасности следующая линейка возможных исходов «отравление – удушье – летальный исход» при действии газов CO и H<sub>2</sub>S. Предложена для стандартного описания исходов параметрическая модель вида «воздействие – ослабление – восприимчивость», где параметры воздействия и восприимчивости выражены в виде случайных величин. В качестве параметров воздействия в конкретно взятой системе принимаются измеряемые с известной точностью величины концентрации газов CO и H<sub>2</sub>S. На основе введенной параметрической модели и принятых как исходных данных, так и данных об уровнях эффективности защиты, было рассчитано множество значений вероятности исходов, указанные в таблицах 2 и 3. Это позволяет прогнозировать риск заболеваний работников в конкретно взятой производственной среде. Уменьшение воздействия путем его ослабления на уровнях от 1,0 до 0,1 и снижение концентрации CO приводит к уменьшению вероятности летального исхода работника от значения 0,9 до 0,000003. Снижение концентрации сероводорода (H<sub>2</sub>S) приводит к уменьшению вероятности летального исхода работника от значения 0,95 до 0,00001.

## Список литературы

1. Есипов Ю.В. Научно-прикладные задачи техносферной безопасности: монография / Ю.В. Есипов, Б.Ч. Месхи, М.С. Джиляджи. – Москва: ИНФРА-М, 2023. – 123 с. – (Научная мысль)
2. Есипов Ю.В. Постановка и пути решения проблемы оценки риска сложных техногенных систем // Управление риском. М.: №1, 2003
3. Киреев В.Э., Есипов Ю.В., Будовский А.В. Оценка профессионального заболевания на основе полной линейки исходов «отравление аммиаком — удушье — летальный исход»// Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 8. — С.41–47 . DOI: 10.24000/0409-2961-2022-8
4. "Absolute lethal dose (LD100)". IUPAC Gold Book. International Union of Pure and Applied Chemistry. Archived from the original on 2019-07-01. Retrieved 2019-07-01.

УДК 547.28

## ОСОБЕННОСТИ КОВАЛЕНТНОГО СВЯЗЫВАНИЯ В МОЛЕКУЛЕ ТРИМЕТИЛАМИН-N-ОКСИДА

*Заречная О.М.*, канд. хим. наук, *Полякова О.Ю.*,

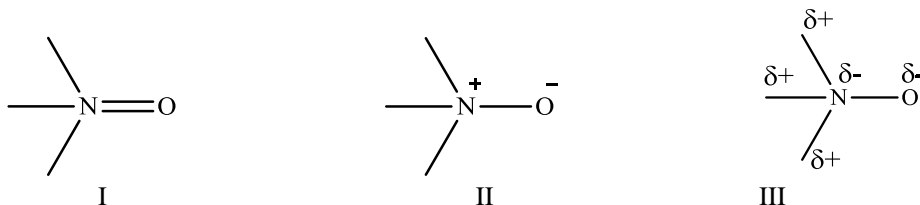
*Протасевич Ю.С.*, *Михайлов В.А.*, канд. хим. наук

ФГБУН «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»,

г. Донецк, РФ

*v\_mikhailov@yahoo.com*

Триметиламин-N-оксид (ТМАО) играет важную роль в поддержании гомеостаза теплокровных, используется в промышленном и лабораторном синтезе; его молекулярное строение и свойства подробно изучены. Гораздо менее ясны детали электронного строения этой малой молекулы, не укладывающейся в концепцию образования ковалентной связи за счет обобществления двух электронов от двух взаимодействующих атомов (два электрона от двух центров связывания: 2с-2е). Чаще всего молекулу ТМАО представляют в виде двух крайних структур: с двойной связью азот-кислород I, и с полным разделением зарядов II.



Геометрия молекулы ТМАО противоречит структуре I: межатомное расстояние азот-кислород слишком велико для кратной связи (рис.1). Илидная структура II не согласуется с низкой основностью и другими химическими свойствами ТМАО. Несколько проясняет ситуацию расчет электронного строения в приближении  $V3LYP/dgdzvP$ , с последующим



анализом в рамках теории Бейдера «атом в молекуле» AIM и post-AIM концепций: функции локализации электронов ELF и локатора локализованных орбиталей LOL. Для всех ковалентных связей в ТМАО выявлены критические точки и пути связывания, показанные на рис.1.

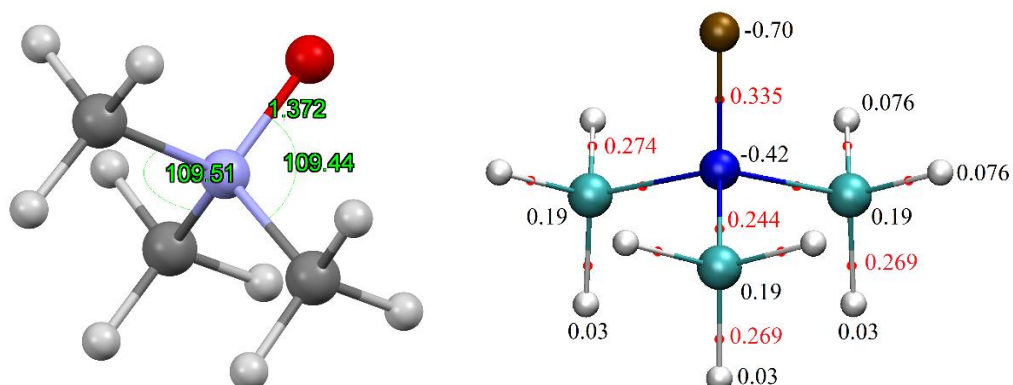


Рис. 1. Общий вид молекулы ТМАО (слева); критические точки связывания в молекуле ТМАО (красным шрифтом выделены плотности электронов в критических точках связывания, в атомных единицах,  $e \cdot \text{Bohr}^{-3}$ ), «заряд по Бейдеру»  $\Omega$  (справа).

Функция локализации электронов ELF выявляет единственный моносинаптический бассейн (обычно ассоциируемый с неподеленными парами электронов)  $V(O)$  в молекуле ТМАО, принадлежащий атому кислорода (рис.2, выделен зеленым), с наполнением, превышающим число валентных электронов кислорода. Все валентные электроны всех остальных атомов вовлечены в дисинаптические бассейны (ассоциируемые со спаренными электронами  $2c-2e$  связывания), с обычным для ординарных ковалентных связей наполнением для бассейнов  $V(C,H)$  и  $V(N,C) \sim 2e$ . Напротив, дисинаптический бассейн  $V(N,O)$  наполнен на удивление слабо (немногим более 1-го электрона). Расчет электронной плотности с низкой кинетической энергией методом локатора локализованных орбиталей LOL дает сходные результаты (рис.2).

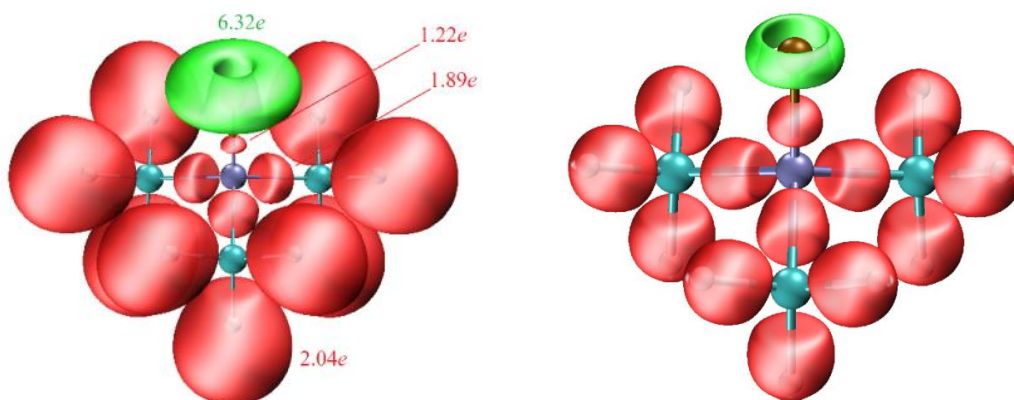


Рис. 2. Визуализация результатов расчета функции локализации электронов ELF (слева) и локатора локализованных орбиталей LOL (справа) для молекулы ТМАО.

В целом приведенные результаты указывают 1) на неверность обоих представлений (I и II), и 2) на ограниченность подобных подходов вообще;

чуть лучше будет выглядеть формула III, которая также не отражает полной картины реального электронного строения.

Расчет волновых функций выполнен с пакетом ORCA 5.0.3 [1] в рамках теории функционала плотности DFT. Для анализа распределения электронной плотности (BCPs, ELF, LOL) в рамках квантовой теории атомов в молекулах (QTAIM) использовали пакет Multiwfn v.3.8 [2,3], для визуализации результатов – пакет VMD [4].

#### Список литературы

1. Neese F., Wennmohs F., Becker U., Riplinger C. *J. Chem. Phys.*, 2020, vol.152, art.224108. DOI:10.1063/5.0004608
2. Lu T., Chen F. *J. Comput. Chem.* 2012, vol. 33, p. 580. doi:10.1002/jcc.22885
3. Zhang J., Lu T. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2021, vol. 23, p. 20323. doi:10.1039/D1CP02805G
4. Humphrey W., Dalke A., Schulten K. *J. Mol. Graphics.*, 1996, vol. 14, p. 33. doi:10.1016/0263-7855(96)00018-5

УДК 577.11

## СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ ХИТОЗАНА – БИОПОЛИМЕРОВ, ЯВЛЯЮЩИХСЯ ФУНГИЦИДАМИ

**Иванова Е. С., Яковлева А.В.**

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова»,  
г. Чебоксары, РФ  
*ivanovakatyа06082002@gmail.com*

**Введение.** На данный момент достаточно актуальным является использование средств защиты растений, которые являются экологически безопасными. Таким примером может служить природный полисахарид и биополимер хитозан, состоящий из распределенного  $\beta$ - (1  $\rightarrow$  4) -связанного D-глюкозамина (деацетилованное звено) и N-ацетил- D -глюкозамина (ацетилованное звено). Хитозан обладает антивирусными, антибактериальными, адсорбционными, фунгицидными и антиоксидантными свойствами, что делает его востребованным в сельском хозяйстве. Кватернизированные производные хитозана, которые содержат четвертичные аммониевые группы обладают наибольшей антибактериальной активностью.

**Цель** исследования заключается в синтезе производных хитозана и в изучении их фунгицидных свойств на бактериях *Phytophthora*, которые были выращены в чашках Петри в лабораторных условиях.

**Основная часть.** В настоящее время всё более актуальным становится использование в сельскохозяйственном производстве

стимуляторов роста и экологически безопасных средств защиты растений. В этом случае перспективным считается хитозан, который является природным полисахаридом и биополимером [1]. Биополимер представляет собой природный полимер, который вырабатывается клетками живых организмов и состоит из мономерных звеньев, которые ковалентно связаны в цепочки с образованием более крупных молекул.

Хитозан – главный представитель биополимеров и представляет собой линейный полисахарид, состоящий из случайно распределенного  $\beta$ -(1  $\rightarrow$  4) -связанного D-глюкозамина (деацетилированное звено) и N-ацетил- D -глюкозамина (ацетилированное звено). Это второй по распространённости биополимер, а основными источниками его получения являются панцири ракообразных и мицелий грибов [1].

Хитозан имеет широкое применение: используется как средство доставки лекарств, оказывая лучшее противоопухолевое действие при постепенном высвобождении свободного лекарства в раковые ткани; применяется как противомикробный агент, а композит на его основе используют в тканевой инженерии для формирования функциональных повязок на раны. Такие повязки создают влажную среду, которая способствует процессу заживления. Хитозан и его производные проявляет высокую биологическую активность, проявляет антивирусные, антибактериальные, антиоксидантные свойства [2].

Хитозан получают деацетилированием хитина при нагревании. Для проведения процесса хитин заливали 50%-ным раствором NaOH и нагревали до температуры 120 °С в течение 90 минут при интенсивном перемешивании [3].

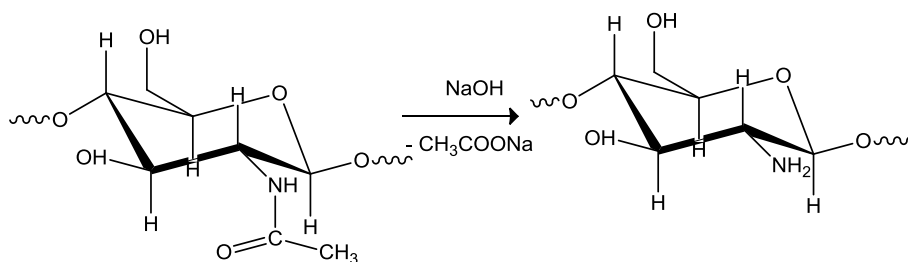


Схема деацетилирования хитина

Известно, что способность вызывать устойчивость растений к вирусным заболеваниям проявляют хитозан и его производные. Наибольшей антибактериальной активностью обладают кватернизированные производные хитозана, которые содержат четвертичные аммониевые группы. Данные производные получают восстановительным алкилированием в щелочных условиях. Антибактериальная активность производных хитозана повышается с увеличением длины цепи алкильного заместителя, что объясняется повышенными гидрофобными свойствами производных.[3]. Повышение

водорастворимости производных путем кватернизации значительно повышает активность в отношении грибов.

Производные N-алкилхитозана получают путем введения алкильных групп в аминогруппы хитозана с помощью базовых промежуточных продуктов Шиффа. Кватернизацию производных N-алкилхитозана проводят с использованием йодистого метила для получения водорастворимых катионных полиэлектролитов, новых производных хитозана с четвертичной аммониевой солью [4], [5].

Для получения водорастворимых производных хитозана с четвертичной аммониевой солью осуществляли кватернизацию хитозана путем метилирования йодистым метилом аминогруппы хитозана через базовые основания Шиффа, которые восстанавливали боргидридом натрия.

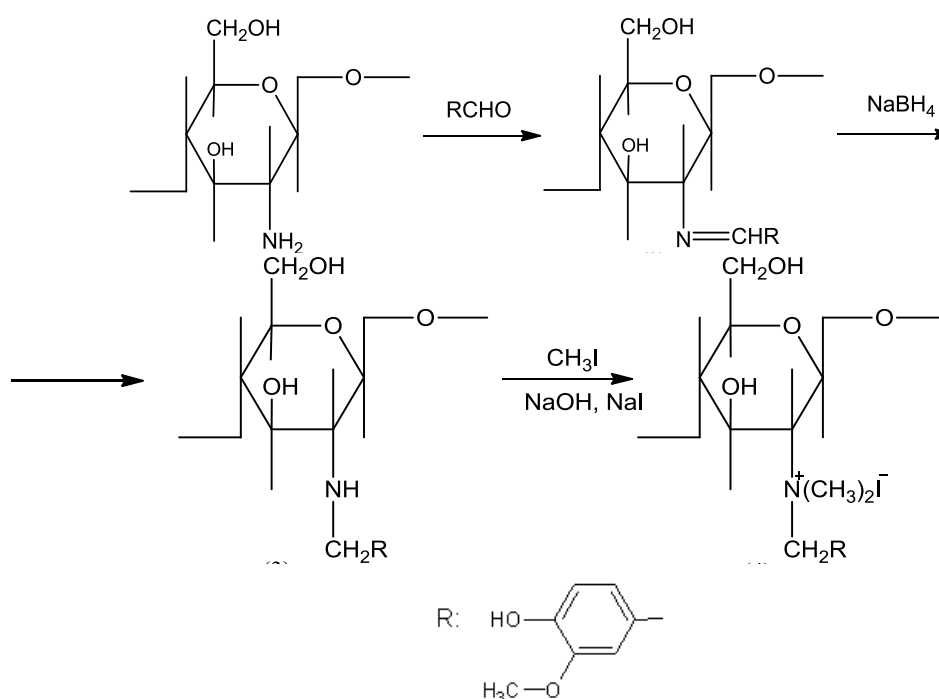


Схема получения кватернизированного хитозана, модифицированного с помощью природного альдегидофенола ванилина

Простейший гриб *Phytophthora infestans* является возбудителем болезни томатов – фитофтороза, он обладает способностью стремительного размножения. В лабораторных условиях в чашках Петри была разведена колонна бактерий *Phytophthora*.

Далее провели обработку данных бактерий разбавленными растворами полученной аммонийной соли, при этом не было роста новых колоний.

**Заключение.** Проведена модификация хитозана с образованием 2-диметил-4-гидрокси-3-метоксибензиламмониевых солей. Кроме того, выявлена фунгицидная активности данного соединения по отношению к

бактерии *Phytophthora*, что носит перспективный характер для дальнейших исследований в этой области.

### Список литературы

1. Скрыбин, К.Г. Хитин и хитозан: Получение, свойства и применение / К.Г. Скрыбин, Г.А. Вихорева, В.П. Варламов. – М.: Наука, 2002. – 368 с.
2. Роль хитозана и его производных в агропромышленном комплексе. Авт. коллектив Ф.Т. Абдуллаев, Н.А. Нематов, Л.Ю. Жамолова. – Москва, Изд. «Интернаука», 2020 – 132 с.
3. Хитин/Хитозан и его производные: фундаментальные и прикладные аспекты / В.П. Варламов, А.В. Ильина, Б.Ц. Шагдарова [и др.] // Успехи биологической химии. – 2020. – Т. 60. – С. 317–368.
4. Получение и исследование моносахаридных производных низкомолекулярного хитозана / А.В. Ильина, С.Н. Куликов, Г.И. Чаленко [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2008. – Т. 44, № 5. – С. 606–614.
5. Domard, A. New method for the quaternization of chitosan / A. Domard, M. Rinaudo, C. Terrassin // International Journal of Biological Macromolecules. – 1986. – № 8. – С. 105–107.

УДК 544.722.22

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК МЕТАНОЛА И ЭТАНОЛА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРОВ ДИКАТИОННОГО ПАВ НА ГРАНИЦЕ С ВОЗДУХОМ

*Котенко А.А., Хилько С.Л.*, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.  
ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»,  
г. Донецк, РФ  
*sv-hilko59@yandex.ru*

**Введение.** В настоящее время большое внимание уделяется высокоорганизованным системам на основе геминальных (димерных) ПАВ, которые имеют принципиальные отличия от своих мономерных аналогов по таким характеристикам, как критическая концентрация мицеллообразования (ККМ), точка Крафта и пр. Димерные ПАВ, в отличие от мономерных аналогов, обладают более выраженной поверхностной активностью на межфазных границах [1]. В этой связи исследование влияния различных факторов на физико-химические свойства растворов димерных ПАВ является актуальным направлением химии поверхностных явлений, так как это позволит регулировать их поведение на границах раздела фаз для различных технических применений и может повысить их биологическую активность.

**Целью работы** было исследование поведения дикатионного имидазолиевого ПАВ в водных растворах метанола или этанола на границе раздела с воздухом.

**Основная часть.** В работе был использован дикатионный имидазолиевый ПАВ с цетилсодержащим радикалом и мостиковым фрагментом с количеством метиленовых групп  $m=4$ . Вещество было синтезировано по усовершенствованной общей схеме, разработанной в работе [2]\*. Общая формула ПАВ приведена на рисунке 1.

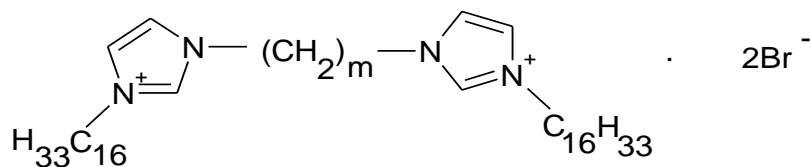


Рис. 1. Общая формула дикатионного диимидазолиевого ПАВ (дибромид 1,3-бис-(3'-цетилимидазолий-1'-ил)-2-алкана).

Дилатационные реологические характеристики (модуль вязкоупругости,  $E$ , мН/м) водных растворов имидазолиевого ПАВ в зависимости от концентрации этанола или метанола ( $C$ , %) измеряли методом осциллирующей вискозиметрии (тензиометр РАТ-2Р, SINTERFACE, Technologies, Germany). Концентрация ПАВ была постоянной в смесях ( $C_{\text{ПАВ}}=1.0 \times 10^{-5}$  моль/л), концентрацию спиртов варьировали в широком диапазоне.

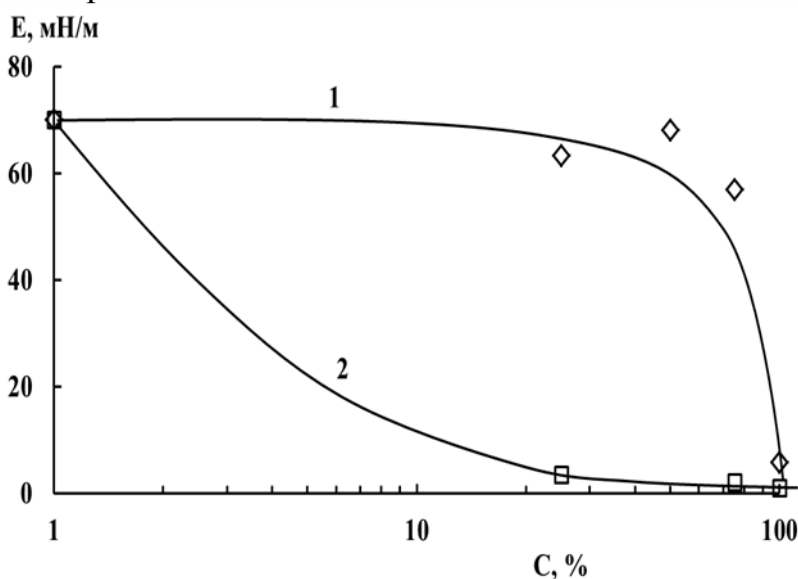


Рис. 2. Изменение величины модуля вязкоупругости растворов дикатионного ПАВ от концентрации спирта в водных растворах: 1 – метанол, 2 – этанол.

Как следует из данных, приведенных на рисунке 2, добавки метанола практически не влияют на величину  $E$  вплоть до концентрации спирта 100 %.

\* Вещество синтезировано к.х.н. В.А. Михайловым (ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»).

Только в метаноле дикатионный ПАВ теряет устойчивость поверхностного слоя. В растворах вода-этанол дикатионный ПАВ не образует устойчивых поверхностных слоев во всем исследуемом диапазоне концентраций спирта.

**Заключение.** Такое поведение может быть связано с конкурентной адсорбцией между молекулами дикатионного ПАВ и спирта с доминированием молекул спирта на границе раздела фаз.

Полученные закономерности поведения дикатионного ПАВ могут быть использованы в технологических и биологических процессах, связанных со смешанными средами.

#### Список литературы

1. Kamboj R., Singh S., Bhadani A., Kataria H., Kaur G. Gemini imidazolium surfactants: synthesis and their biophysicochemical study // *Langmuir*. – 2012. – V. 21. № 28(33). – P. 11969-11978. – <https://doi.org/10.1021/la300920p>.
2. Ren C. Synthesis, surface activity and aggregation behavior of Gemini imidazolium surfactants 1,3-bis(3-alkylimidazolium-1-yl) propane bromide // *Colloids Surf. A*. – 2015. – V. 467. – P. 1–8. – <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.11.031>.

УДК 542.943 : 547.565 : 543.054

## ВЫДЕЛЕНИЕ ПРОДУКТОВ ЛАККАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТОДАМИ ЭКСТРАКЦИИ И ХРОМАТОГРАФИИ

*Кравченко Е.М., Одарюк И.Д.*, канд. хим. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*elen.kravchenko@donnu.ru*

**Введение.** Лакказы – медьсодержащие оксидазы, катализирующие окисление органических веществ молекулярным кислородом. Классическими лабораторными субстратами лакказ являются двухатомные фенолы. Эти ферменты осуществляют окисление субстратов по радикальному механизму, который, по-видимому, включает ферментативные и неферментативные стадии и до конца не изучен [1]. Исследование природы промежуточных и конечных продуктов не только является важной частью изучения ферментативных реакций, но и необходимо для эффективного использования лакказ в биотехнологических процессах.

Спектрофотометрический метод, широко применяемый для исследования ферментативной кинетики [2], дает ограниченную информацию о количестве и природе продуктов реакции. Целью работы был подбор доступной и экспрессной методики выделения продуктов

лакказного окисления из реакционных смесей для дальнейшего структурного анализа.

**Основная часть.** В качестве модельного субстрата использовали гидрохинон, так как в ходе его лакказного окисления не обнаружено каких-либо других устойчивых продуктов, кроме *para*-бензохинона; скорость расходования субстрата равна скорости накопления продукта; и субстрат, и продукт имеются в реактивно чистом виде. Реакционная смесь при лакказном окислении гидрохинона содержит буферный раствор, лакказу, гидрохинон и *para*-бензохинон. Фенолы и хиноны характеризуются различной растворимостью в водных и органических фазах, поэтому для выделения продуктов лакказного окисления были испытаны колоночная хроматография и экстракция.

Ввиду высокой растворяющей способности, малого смешивания с водой и летучести, наиболее подходящими экстрагентами являются хлороформ и метилтретбутиловый эфир (МТБЭ) [3]. Для первичных опытов был использован МТБЭ, так как его плотность меньше плотности воды и в этом случае удобнее отбирать органическую фазу при проведении экстракции.

Реакцию лакказного окисления фенолов проводили в термостатируемом реакторе барботажного типа. Хинон экстрагировали из водной фазы при достижении более 90% степени конверсии субстрата трижды, суммарно равным объемом эфира. Экстракт сушили при  $T = 303\text{ K}$  под вакуумом, взвешивали и растворяли. Идентификацию и определение концентрации хинона проводили спектрофотометрически.

Экстракция чистого *para*-бензохинона из воды позволила извлечь его с 90%-ным выходом. Экстракция *para*-бензохинона, образовавшегося при лакказном окислении гидрохинона, позволила получить продукт с выходом 80%. Его спектральные характеристики практически совпадают с таковыми для чистого вещества (см. таблицу). При работе с субстратами, продукт окисления которых является предметом исследования, следует увеличить масштаб загрузки и экстракции и предусмотреть этап очистки.

Предполагается, что лакказное окисление пирокатехина ведет к образованию красного *ortho*-бензохинона, менее устойчивого, чем *para*-изомер. Реакцию лакказного окисления пирокатехина и процедуру экстракции продукта проводили аналогично опытам с гидрохиноном. Масса полученного осадка неоднородного темного цвета составила 68% от теоретического. Очистка данного продукта путем возгонки к успеху не привела – сублимировался в малом количестве чистый пирокатехин (вероятно, непрореагировавший). В таблице приведены спектральные характеристики неочищенного продукта. Как видно, они существенно отличаются от таковых для *ortho*-бензохинона, наблюдаемого спектрофотометрически. По-видимому, данный продукт вступает в дальнейшие превращения со скоростью, соизмеримой со скоростью



ферментативного окисления пирокатехина и для его извлечения необходимы другие подходы и дополнительные исследования.

Таблица

Спектральные свойства *продуктов* лакказного окисления гидрохинона и пирокатехина, полученных экстракцией МТБЭ из реакционной смеси

Вещество	растворитель	$\lambda_{\max}$ , нм	$\epsilon$ , л/моль·см
Пара-бензохинон (образец)	цитратный буфер	246	$1,86 \cdot 10^4$
		426	20,1
	МТБЭ	240	$1,98 \cdot 10^4$
		455	18,0
Продукт лакказного окисления гидрохинона (экстракция)	цитратный буфер	246	$1,72 \cdot 10^4$
		426	18,2
	МТБЭ	240	$1,7 \cdot 10^4$
		455	27,8
Продукт лакказного окисления пирокатехина (из данных кинетики)	цитратный буфер	390	2690
Продукт лакказного окисления пирокатехина (экстракция)	цитратный буфер	390	171
		МТБЭ	384

Для хроматографического разделения смеси гидрохинона и пара-бензохинона использовали стеклянные колонки с вакуумируемым приемником, заполненные силикагелем или оксидом алюминия. В качестве элюентов были испытаны смеси этанол-вода (24/1; 3/2), трехкомпонентная смесь гексан/бутанол-1/уксусная кислота 7/12/1.

При разделении смеси гидрохинона и *пара*-бензохинона на колонках с  $Al_2O_3$  и силикагелем с использованием водно-спиртового раствора в качестве элюента происходит частичное разделение веществ. Можно собрать фракции, более богатые каждым из компонентов, чем исходная смесь, но полного разделения достичь не удастся. Примечательно, что кривые элюирования отдельных компонентов отличаются от кривой для смеси – из них следует лучшее разделение компонентов, чем оказывается на практике. Возможно, это связано со специфическим взаимодействием между этими соединениями и образованием в полярных средах известного для них комплекса хингидрона, что и усложняет разделение.

При замене водно-этанольной смеси трехкомпонентной системой гексан/бутанол-1/уксусная кислота состава 7/12/1 также зафиксировано частичное разделение гидрохинона и *пара*-бензохинона.

На основании полученных результатов по хроматографическому разделению гидрохинона и *пара*-бензохинона можно сделать такие выводы:

- для полного разделения фенолов и хинонов не пригодны колонки на основе силикагеля и оксида алюминия с той длиной наполнителя,

которую использовали в данной работе (до 55 см), необходимо использование носителя с меньшей полярностью и нагнетание элюента перистальтическим насосом вместо вакуумирования;

- желателно использовать элюент, не содержащий воды, что обусловлено низкой стабильностью в ней *para*-бензохинона и образованием хингидрона.

### Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. Справочник химика: под. ред. акад. Б.П. Никольского. – Л.: Химия, 1971, т. 2 – 1168 с.

УДК 547.856.1

## СИНТЕЗ И ТРАНСФОРМАЦИИ 2,1-БЕНЗИЗОКСАЗОЛОВ

**Котов А.Д.<sup>1</sup>**, д-р хим. наук, проф., **Проскурина И.К.<sup>1</sup>**, канд. хим. наук, доц.,  
**Хахина М.Ю.<sup>1</sup>**, канд. хим. наук, **Куничкина А.С.<sup>2</sup>**

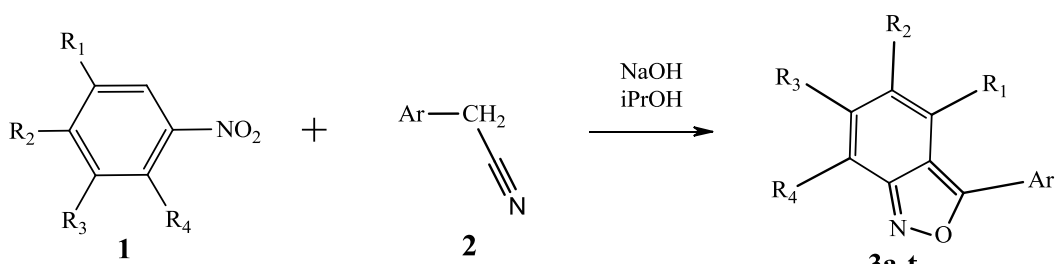
<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского», г. Ярославль, РФ

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина», г. Москва, РФ

*anna.pakharukova@mail.ru*

2,1-Бензизоксазолы или антранилы привлекают внимание исследователей их разнообразной биологической активностью, способностью выступать в качестве многоплановых синтонов тонкого органического синтеза, полупродуктов в производстве мономеров и биоактивных веществ [1-3]. Поэтому разработка новых методов получения и трансформаций 2,1-бензизоксазолов является весьма актуальной задачей.

В настоящее время наиболее перспективным методом получения 2,1-бензизоксазолов является конденсация *n*-замещенных нитроаренов с арилацетонитрилами в низших одноатомных спиртах в присутствии большого избытка гидроксидов натрия или калия. С использованием данного подхода нами был получен широкий ряд соединений 2,1-бензизоксазольного ряда.



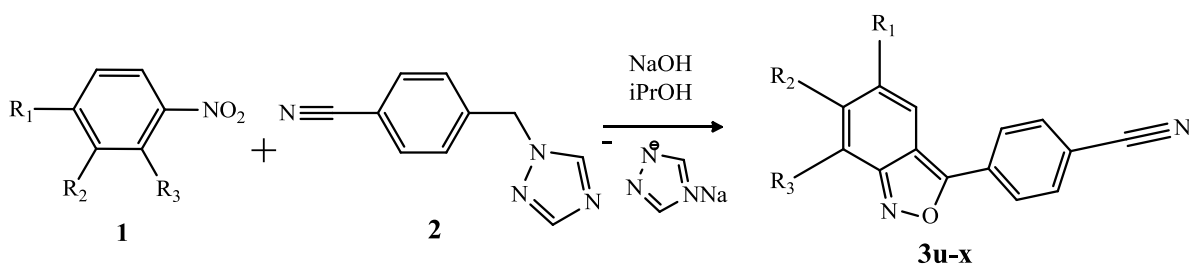
3a: R<sub>2</sub>=I; Ar=4-OMeC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, 61%; 3b: R<sub>2</sub>,R<sub>4</sub>=Cl,Cl; Ar=3,4-(OMe)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>,74%; 3c: R<sub>2</sub>=I; Ar=4-ClC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>,71%; 3d: R<sub>2</sub>=Cl; Ar=4-MeC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>,63%; 3e: R<sub>2</sub>=C≡C-Ph,57%; 3f: R<sub>2</sub>=Cl, R<sub>3</sub>=5-methyl-1,2,4-oxadiazole; Ar= Ph,72%; 3g: R<sub>2</sub>=2-methyl-1,3-dioxolane; Ar=3-ClC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>,58%; 3h: R<sub>2</sub>=Br; Ar=Ph,74%; 3i: R<sub>2</sub>=I; Ar=Ph,67%; 3j: R<sub>2</sub>=I; Ar=4-MeC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>,78%; 3k: R<sub>1</sub>=COOH, R<sub>2</sub>= Cl; Ar=Ph,68%; 3l: R<sub>2</sub>=Cl; Ar=Ph,76%; 3m: R<sub>2</sub>,R<sub>3</sub>=Cl,Cl; Ar=Ph,64%; 3n: R<sub>2</sub>=1,3-dioxolane; Ar=Ph,62%; 3o: R<sub>2</sub>=Cl; Ar=4-BrC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>,76%; 3p: R<sub>2</sub>=Cl; Ar=4-ClC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>,73%; 3q: R<sub>2</sub>=COOH; Ar=3,4-(Cl)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>,67%; 3r: R<sub>2</sub>=COOH; Ar=Ph,57%; 3s: R<sub>2</sub>=COOH; Ar=4-MeC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>,65%; 3t: R<sub>2</sub>=Cl; Ar=4-OMeC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>,68%

Индивидуальность и строение всех синтезированных соединений подтверждены комплексом физико-химических методов анализа (ТСХ, ИК, ЯМР <sup>1</sup>H, ЯМР<sup>13</sup>C спектроскопии, масс-спектрометрии, структура соединения 3d была установлена с помощью рентгеноструктурного анализа).

Недостатками данного метода синтеза антралинов являются значительные ограничения по структуре субстрата и реагента. В ряде случаев наблюдается преобладание побочных процессов с образованием нецелевых соединений или смолообразных примесей.

Более существенным недостатком данного метода получения 2,1-бензизоксазолов является образование в реакционной среде в качестве побочного продукта цианида натрия (калия). Поэтому нами был разработан и предложен новый альтернативный способ синтеза 2,1-бензизоксазолов без образования токсичных побочных продуктов, который позволит расширить библиотеку этих соединений.

Получение 2,1-бензизоксазолов осуществляли методом конденсации *n*-замещённых нитроаренов с 1-(4-цианобензил)-1*H*-1,2,4-триазолом в среде изопропилового спирта в присутствии гидроксида натрия в течение 24 часов.



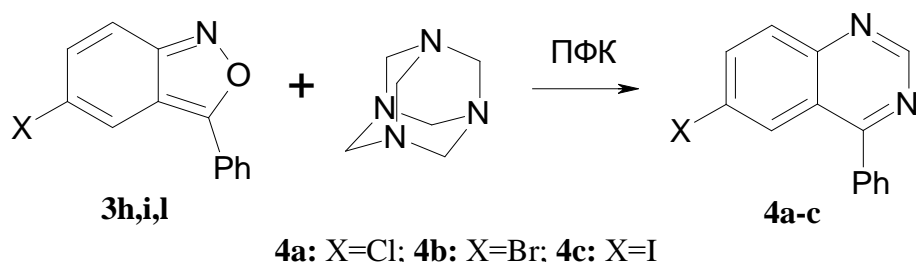
3u: R<sub>1</sub>=Cl,67%; 3v: R<sub>1</sub>,R<sub>3</sub>=Cl,Cl,53%; 3w: R<sub>1</sub>=Cl; R<sub>2</sub>=5-methyl-1,2,4-oxadiazole,65%; 3x: R<sub>1</sub>=CN,70%

В ходе реакции фрагмент 1,2,4-триазола за счет электроноакцепторных свойств стабилизирует образующийся под действием основания карбанион метиленовой компоненты, а на второй стадии выступает в качестве уходящей группы, в результате отщепления которой происходит замыкание 2,1-бензизоксазольного цикла. Предложенный метод синтеза антранилов является более экологичным из-за отсутствия цианид-содержащих отходов. Кроме того, 1-(4-цианобензил)-1*H*-1,2,4-триазол является коммерчески доступным промежуточным продуктом, используемым в синтезе активного фармацевтического ингредиента летрозола. Подобные *N*-алкилированные триазолы легко доступны по реакции между триазолатом натрия и соответствующими бензилгалогенидами. Следует отметить, что для данного подхода к получению 2,1-бензизоксазолов действуют те же ограничения по структуре нитроароматических субстратов.

Для синтезированных 2,1-бензизоксазолов была определена потенциальная фармакологическая активность методом компьютерного моделирования с помощью системы PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances). Согласно прогнозу, полученные антранилы могут быть с высокой вероятностью потенциальными лекарственными препаратами для лечения фобических расстройств, а также препаратами для лечения артрита.

Также полученные 2,1-бензизоксазолы были исследованы в Северо-Западном Университете (ЮАР) на биологическую активность, а именно на способность ингибировать моноаминоксидазу (МАО). Результаты исследования опубликованы в работе [4].

Химические превращения 2,1-бензизоксазолов включают в себя процессы, протекающие как с сохранением антранилового цикла, так и реакции с раскрытием гетероцикла, часто сопровождающиеся аннелированием с другими гетероциклическими фрагментами. С целью изучения реакционной способности и путей модификации 2,1-бензизоксазолов нами было исследовано их взаимодействие с уротропином. При этом, нами впервые было установлено, что реакции 5-галоген-3-фенил-2,1-бензизоксазолов с уротропином в среде полифосфорной кислоты протекают с образованием 4-фенил-6-галогенхиназолинов.



Реакция 5-бром-3-(4-хлорфенил)-2,1-бензизоксазола, 5-хлор-3-(3,4-диметоксифенил)-2,1-бензизоксазола, 5-[3'(3''фенил-2'',1''-бензизоксазол-5''-илокси)фенокси]-3-фенил-2,1-бензизоксазола, 3-фенил-2,1-бензизоксазол-5-карбальдегида с уротропином в ПФК приводит к образованию неразделимых смесей веществ или выделению исходных соединений.

#### Список литературы

1. Kotov A.D., Proskurina I.K. Antraniles (2,1-benzisoxazoles) as aminating agents // Chemistry of Heterocyclic Compounds. - 2019. - Vol. 55, N 8. - P. 698-700. - DOI: 10.1007/s10593-019-02523-4.
2. Xie F., Shen B., Li X. Enantioselective Copper-Catalyzed Hydroamination of Vinylarenes with Anthranils // Org. Lett. - 2018. - Vol. 20, N 22. - P. 7154-7157. - DOI: 10.1021/acs.orglett.8b03093.
3. Lei X., Gao M., Tang Y. Rh(II)-Catalyzed Transannulation of *N*-Sulfonyl-1,2,3-Triazoles with 2,1-Benzisoxazoles or 1,2-Benzisoxazoles // Org. Lett. - 2016. - Vol. 18, N 19. - P. 4990-4993. - DOI: 10.1021/acs.orglett.6b02454.
4. Shetnev A. Monoamine oxidase inhibition properties of 2,1-benzisoxazole derivatives / Shetnev A., Kotov A., Kunichkina A., Proskurina I., Baykov S. Korsakov M. Petzer A. Petzer J.P. // Mol Divers. - 2023. - DOI: 10.1007/s11030-023-10628-4.

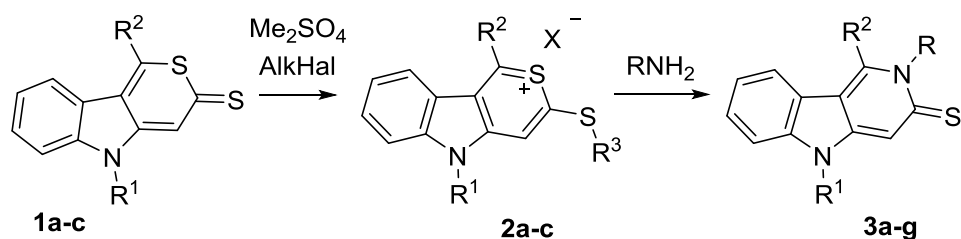
УДК 547.818.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЛЕЙ ТИОПИРАН[4,3-*b*]ИНДОЛ-2-ИЯ С АМИНАМИ

*Лысенко Е.А., Крачковская А.В.*, канд. хим. наук  
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону, РФ  
*Lysenckocatia@yandex.ru*

Ранее в нашей лаборатории был разработан метод синтеза новой гетероциклической системы тиопирано[4,3-*b*]индол-3(5*H*)-тиона **1a-c** [1]. В рамках исследования ее свойств, при проведении реакций алкилирования были получены соответствующие тиопирилеиевые соли **2a-c** (схема 1).

Также с целью исследования синтетических возможностей этой системы для получения новых гетероциклов были осуществлены реакции полученных ранее тиопирилеиевых солей **2a-c** с первичными и вторичными алифатическими аминами.



**1a** R<sup>1</sup> = Bn, R<sup>2</sup> = Ph

**1b** R<sup>1</sup> = Me, R<sup>2</sup> = *p*-Tol

**1c** R<sup>1</sup> = Et, R<sup>2</sup> = Ph

**2a** R<sup>1</sup> = Bn, R<sup>2</sup> = Ph, R<sup>3</sup> = Me, X = MeSO<sub>4</sub>

**2b** R<sup>1</sup> = Me, R<sup>2</sup> = *p*-Tol, R<sup>3</sup> = Me, X = I

**2c** R<sup>1</sup> = Et, R<sup>2</sup> = Ph, R<sup>3</sup> = Et, X = Br

**3a** R<sup>1</sup> = Bn, R<sup>2</sup> = Ph, R = 2-(3-indolyl)ethyl, 64%

**3b** R<sup>1</sup> = Bn, R<sup>2</sup> = Ph, R = 2-morpholinoethyl, 48%

**3c** R<sup>1</sup> = Me, R<sup>2</sup> = *p*-Tol, R = 2-morpholinoethyl, 39%

**3d** R<sup>1</sup> = Bn, R<sup>2</sup> = Ph, R = Me<sub>2</sub>N(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, 37%

**3e** R<sup>1</sup> = Me, R<sup>2</sup> = *p*-Tol, R = 2-hydroxyethyl, 41%

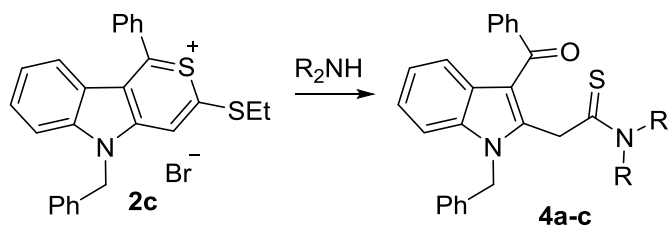
**3f** R<sup>1</sup> = Bn, R<sup>2</sup> = Ph, R = 2-hydroxyethyl, 44%

**3g** R<sup>1</sup> = Et, R<sup>2</sup> = Ph, R = 2-(3-indolyl)ethyl, 56%

Схема 1

При взаимодействии первичных аминов с солями тиопирилия **2a-c** наблюдается образование  $\gamma$ -карболинов **3a-g** (схема 1). Структура соединения **3c** доказана методом РСА (рис.1)

Кроме этого, взаимодействие соли **2c** с вторичными аминами приводит к образованию открытоцепных продуктов **4a-c** (схема 2).



**4a** NR<sub>2</sub> = morpholine, 43%

**4b** NR<sub>2</sub> = piperidine, 55%

**4c** NR<sub>2</sub> = pyrrolidine, 61%

Схема 2

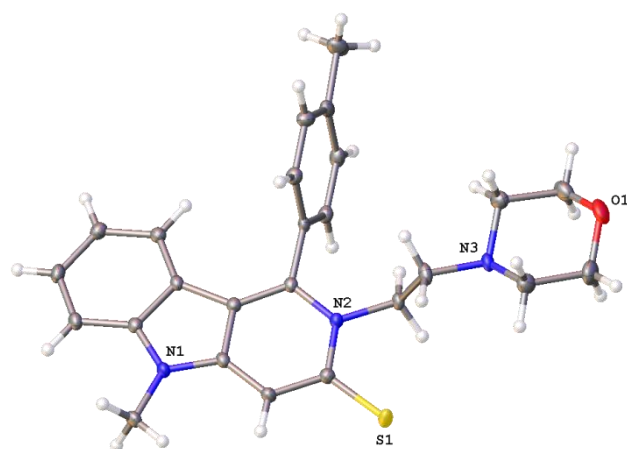


Рис. 1. Структура соединения **3c**

Строение полученных соединений **2a-c**, **3a-g** и **4a-c** доказано методами ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  спектроскопии.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-23-00362).*

### Список литературы

1. Suzdalev, K.F. Lithium-Promoted Cycloaddition of Indole-2,3-dienolates and Carbon Disulfide as a One-Pot Route to Thiopyrano[4,3-*b*]indole-3(5*H*)-thiones/ K.F. Suzdalev, J.V. Vyalyh, V.V. Tkachev, E.A. Lysenko, O.N. Burov, A.V. Lisovin, M.E. Kletskii, S.V. Kurbatov// *J. Org. Chem.* – 2021. – С. 11698–11707. DOI: 10.1021/acs.joc.1c01200

УДК 547.834.2

## ОДНОРЕАКТОРНЫЙ СИНТЕЗ ПОЛИЗАМЕЩЕННЫХ 1,6-НАФТИРИДИНОВ ИЗ АЛИФАТИЧЕСКИХ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ

*Перепечай А.А., Дяченко В.Д.,* д-р хим. наук, проф.

ФГБОУ ВО «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск, РФ  
*chem.post@yandex.ru*

1,6-Нафтиридины – гетероциклические системы, нашедшие свое применение в различных отраслях, включая биологию, медицину, сельское хозяйство и промышленность. Такая практическая значимость обусловлена, прежде всего, широким спектром биологической активности, который проявляет данная группа соединений [1].

Особенно разнообразны фармакологические свойства 1,6-нафтиридинсодержащих структур. В частности, эти соединения действуют как противораковые, противовирусные, противоастматические, противосудорожные и анальгетические агенты. Исследовано ингибирующее влияние 1,6-нафтиридинов на фосфодиэстеразу 10 А, а также действие в качестве антагонистов на рецепторы 5-НТ4 и СВ2 [2].

Следует также отметить, что реакции получения 1,6-нафтиридинов с участием алифатических предшественников в литературе встречаются довольно редко. Большинство методов синтеза этих гетероциклических систем основан на использовании различных пиридинсодержащих соединений, в частности – никотиновой кислоты и ее производных. В таких реакциях к уже существующему пиридиновому ядру достраивается еще один пиридиновый цикл.

Исходя из этого, поиск новых методов синтеза функционализированных 1,6-нафтиридинов с использованием нециклических предшественников представляет особый научный интерес,

поскольку данный подход позволяет получать сложные конденсированные гетероциклические системы путем последовательных реакций конденсации и циклизации.

Полизамещенные 1,6-нафтиридины могут быть синтезированы согласно схеме 1. На первой стадии в основной среде происходит конденсация димера малонитрила **2** и альдегида **3** с образованием диена **4**. Далее в реакцию вступает еще один моль СН-кислоты **2**. Присоединяясь к ненасыщенной связи структуры **4** 2-аминопроп-1-ен-1,1,3-трикарбонитрил **2** образует интермедиат **5**. Атака аминогруппой одной из цианогрупп промежуточного продукта **5** приводит к циклическому соединению **6**, которое далее ароматизуется до замещенного пиридина **7**. Последующее введение в реакцию нуклеофила с образованием новой аминогруппы в гетероцикле **8** и дальнейшее замыкание нового пиридинового ядра завершают процесс формирования 1,6-нафтиридина **1**. Строение полученных соединений подтверждено данными ИК-, масс-, ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ -спектроскопии.

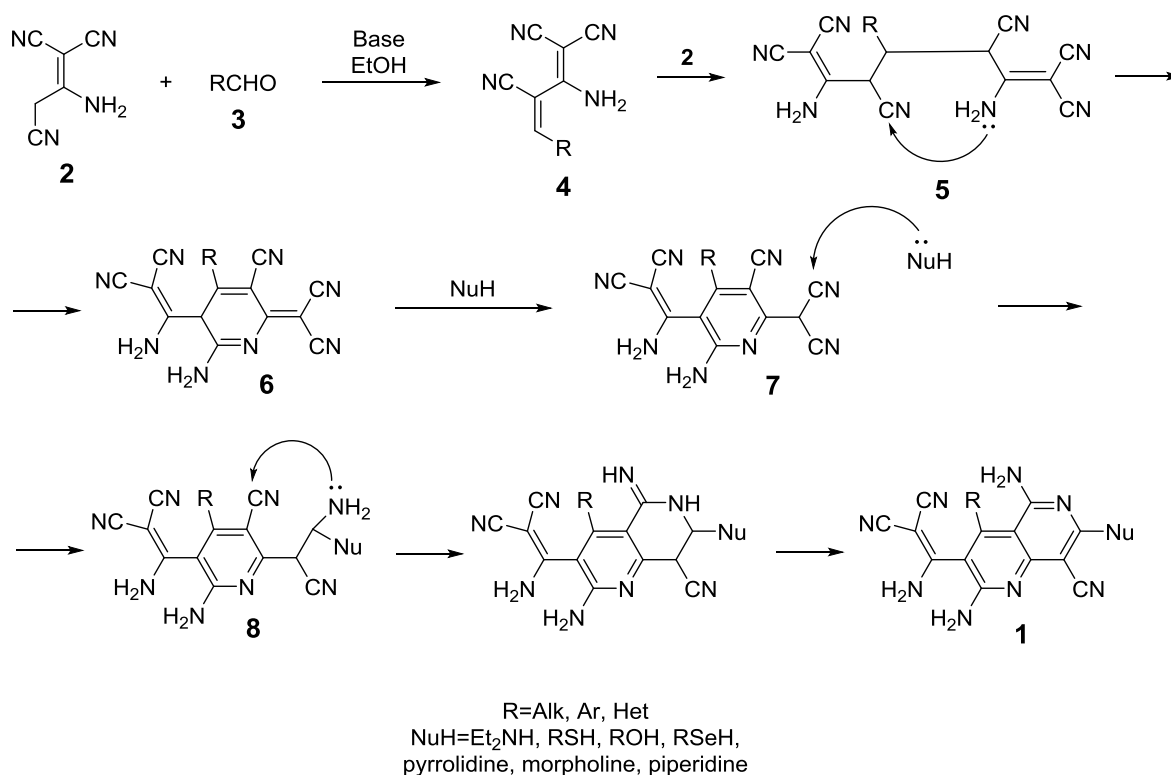


Схема 1

Таким образом, полизамещенные 1,6-нафтиридины можно получить одnoreакторно с использованием алифатических предшественников. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение возможности трансформации полученных продуктов в полициклические системы, обладающие полезными свойствами.



## Список литературы

1. Litvinov, V.P. Naphthyridines. Structure, physicochemical properties and general methods of synthesis / V.P. Litvinov, S.V. Roman, V.D. Dyachenko // Russian Chemical Reviews. – 2000. – № 69 (3). – P. 201–220. – DOI: 10.1070/RC2000v069n03ABEH000553.
2. Devadoss, T. Synthesis of 1,6-Naphthyridine and Its Derivatives: A Systematic Review / T. Devadoss, V. Sowmya, R. Bastati // ChemistrySelect. – 2021. – № 6 (15). – P. 3610–3641. – DOI: 10.1002/slct.202004462.

УДК 544.463+532.612+631.4

## АДСОРБЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ ЭТОКСИАМИНОГУМИНОВЫХ КИСЛОТ НА ГРАНИЦЕ С ВОЗДУХОМ

*Рогатко М.И., Хилько С.Л.*, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.,  
*Макарова Р.А.*, канд. хим. наук, *Семенова Р.Г.*, канд. хим. наук.  
ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»,  
г. Донецк, РФ  
*marina.rogatko@gmail.com*

**Введение.** Гуминовые кислоты (ГК) представляет собой сложную конденсатную смесь мономеров, содержащую кислые карбоксильные и фенолятные группы. Функционально ГК являются типичными природными полиамфифилами. В работе [1] гуминовые кислоты названы «спящим гигантом», поскольку масштабы и важность этих веществ в природе чрезвычайно велики: гумусовые вещества составляют до 80% всего органического вещества в почве, играют ключевую роль в плодородии почвы, а также в глобальном углеродном цикле [2]. Гуминовые кислоты повсеместно присутствуют в природе в составе почв, торфа, бурого угля, сапропеля.

Важным направлением химии природных соединений является их химическая модификация для получения продуктов с необычными свойствами. Механохимические методы при получении производных природных соединений позволяют проводить реакции модификации простым, экологически чистым и экономически выгодным способом.

**Целью работы** было исследование адсорбционных характеристик растворов солей этоксиаминогуминовых кислот на границе с воздухом.

**Основная часть.** Этоксиминогуминовые кислоты были получены методом механосинтеза в вибрационном аппарате 75Т-ДрМ при взаимодействии ГК с полиэтиленгликолем (ПЭГ-6000 или ПЭГ-1500) и мочевиной или циангуанидином при частоте вибрации  $\nu = 50$  Гц и амплитуде  $A = 3.0-5.0$  мм. Время механообработки составляло 5 минут. ИК

спектры ГК в таблетках KBr регистрировали на спектрометре Bruker Tensor 37 FTIR Spectrometer (Германия).

Совокупность изменений, наблюдающихся в ИК спектрах этоксиаминогуминовых кислот по сравнению с исходными соединениями, свидетельствует о совместном протекании реакций этоксилирования и аминирования гуминовых кислот (см. рис. 1 и 2). В ИК спектрах продуктов реакции появляется полоса поглощения в области  $1100\text{ см}^{-1}$ , соответствующая валентным колебаниям  $\nu_{\text{C-O}}$  эфирной группы ( $-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-$ ). По сравнению с исходным образцом ГК увеличиваются интенсивности полос поглощения в области  $2950\text{ см}^{-1}$ , соответствующие колебаниям алифатических групп. Это указывает на увеличение доли алифатической составляющей в макромолекулах ГК в результате этоксилирования. В спектрах продуктов реакции ГК с ПЭГ-6000 или ПЭГ-1500 и циангуанидином (см. рис. 1) отсутствует полоса поглощения цианидной группы в области  $2200\text{ см}^{-1}$ . Отсюда следует, что реакция присоединения может протекать именно по этой группе. В ИК спектрах продуктов механообработки ГК с ПЭГ-6000 или ПЭГ-1500 и мочевиной уменьшается интенсивность полосы поглощения в области  $1700\text{ см}^{-1}$ , соответствующая поглощению карбонильных групп, которые входят в состав мочевины и карбоксильных групп ГК (см. рис. 2). Это указывает на возможность протекания реакции с участием этих групп.

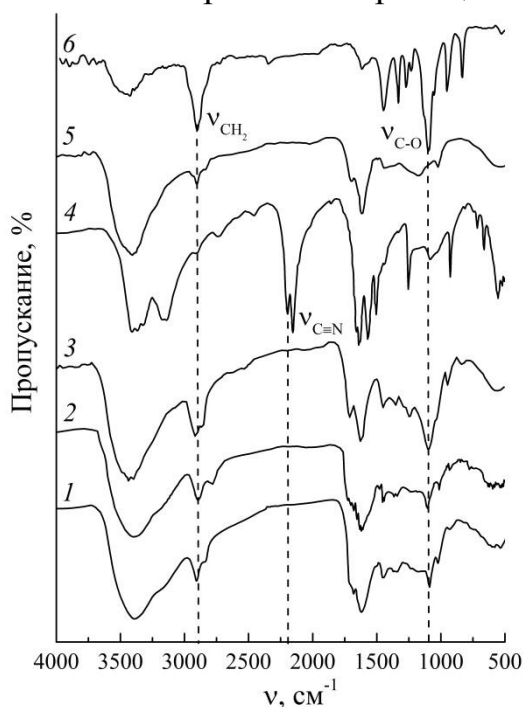


Рис. 1. ИК спектры образцов:  
 1 – ГК + ПЭГ-6000 + циангуанидин;  
 2 – ГК + ПЭГ-1500 + циангуанидин;  
 3 – ГК + ПЭГ-6000;  
 4 – циангуанидин;  
 5 – ГК<sub>исх</sub>; 6 – ПЭГ-6000.

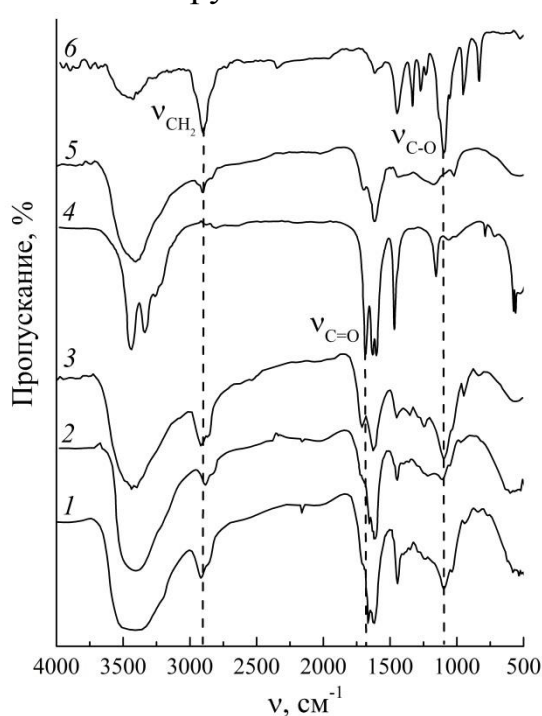


Рис. 2. ИК спектры образцов:  
 1 – ГК + ПЭГ-6000 + мочевины;  
 2 – ГК + ПЭГ-1500 + мочевины;  
 3 – ГК + ПЭГ-6000; 4 – мочевины;  
 5 – ГК<sub>исх</sub>; 6 – ПЭГ-6000.

В работе [3] авторы использовали соотношения теоретической модели бимолекулярной адсорбции, разработанной для характеристики адсорбционных свойств растворов белков, в качестве полуэмпирического описания экспериментальных результатов применительно к растворам солей гуминовых кислот. Модель учитывает возможность существования макромолекул в  $n$  состояниях и их способность к агрегации в адсорбционных слоях при полимолекулярной адсорбции. Теоретические кривые рассчитаны с помощью программы ProteinG [5].

В рамках этой модели для растворов солей модифицированных гуминовых кислот (гуматы натрия, ГН) были получены концентрационные зависимости изменения величин адсорбции ( $\Gamma$ , мг/м<sup>2</sup>) при их бимолекулярной адсорбции на границе с воздухом (см. рис. 3).

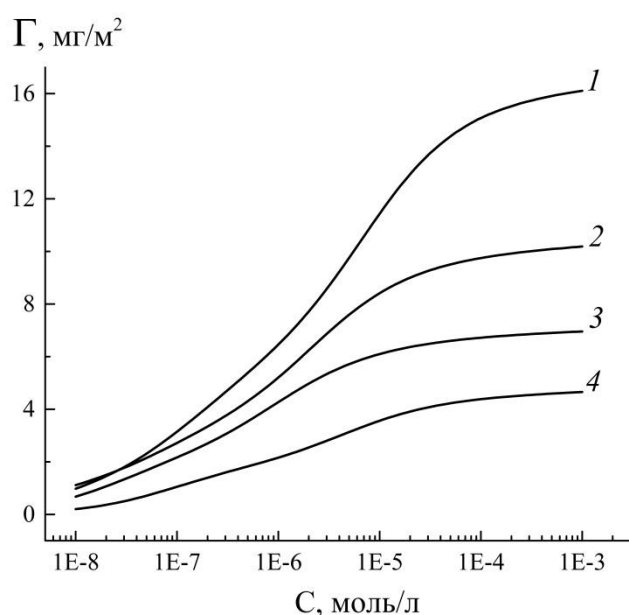


Рис. 3. Зависимости изменения величин адсорбции ( $\Gamma$ ) солей модифицированных гуминовых кислот от их концентрации, рассчитанные по теоретической модели бимолекулярной адсорбции: 1 – ГНГК+ПЭГ-6000+мочевина, 2 – ГНГК+ПЭГ-6000+циангуанидин, 3 – ГНГК+мочевина, 4 – ГНГК+циангуанидин.

Как следует из данных, приведенных на рисунке 3, рассчитанная величина адсорбции ( $\Gamma$ ) для солей этоксиаминогуминовых кислот значительно больше, чем для аминокуминовых кислот, что может быть связано с введением в макромолекулу ГК этоксилированных «хвостов».

**Заключение.** В работе показано, что при одновременном включении этоксильных и аминогрупп в структуру макромолекул ГК возможно получение трехфункциональных поверхностно-активных веществ, которые отличаются по адсорбционным свойствам от двухфункциональных систем, а также от исходного гумата натрия

## Список литературы

1. Yang, F. The sleeping giant: a polymer view on humic matter in synthesis and applications / F. Yang, M. Antonietti // Progress in Polymer Science. – 2020. – V. 100. – P. 101182. – <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2019.101182>.
2. Shan, J. Selective digestion of the proteinaceous component of humic substances by the geophagous earthworms *Metaphire guillelmi* and *Amyntas corrugatus* / J. Shan, A. Brune, R. Ji // Soil Biol Biochem. – 2010. – V. 42. – P. 1455–1462. – <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.05.008>.
3. Особенности формирования адсорбционных слоев продуктов механохимической модификации гуминовых кислот на границе раздела жидкость-газ / С. Л. Хилько, М. И. Рогатко, Р. А. Макарова [и др.] // Коллоид. журн. – 2020. – Т. 82, № 6. – С. 749 – 760. – <https://doi.org/10.31857/S0023291220060063>.
4. Программа «ProteinG» // Разработчик Аксененко Е. В. (Eugene\_Aksenenko@ukr.net). <http://www.thomascatt.info/Scientific/adso/adso.htm>.

УДК 547.814.1

## МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ ГИДРОКСИКУМАРИНОВ

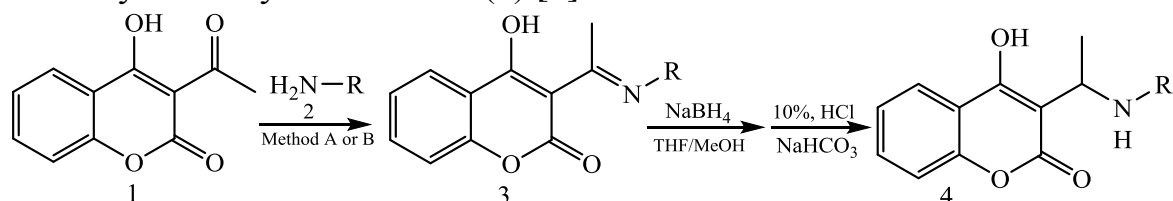
*Рубежная Д.В., Дяченко В.Д.*, д-р хим. наук, проф.  
ФГБОУ ВО «Луганский государственный педагогический университет»,  
г. Луганск, ЛНР, РФ  
*dasha.rubezhnaya.99@mail.ru, dyachvd@mail.ru.*

Кислородсодержащие гетероциклические соединения, представляющие собой конденсированную систему бензольного кольца с пирановым циклом, представителями которых являются кумарины (2*H*-хромен-2-оны), составляют большую группу веществ, широко распространённых в растительном мире.

Особого внимания заслуживает семейство 4-гидроксикумаринов. Родоначальник этого семейства, 4-гидроксикумарин, получают из некоторых растений или производят синтетически. Производные 4-гидроксикумарина нашли применение при производстве духов, агрохимикатов, инсектицидов в фармацевтической промышленности и терапевтической практике при лечении и профилактике заболеваний, связанных с нарушением системы свертываемости крови, а также для дезинфекции в качестве родентицидных средств.

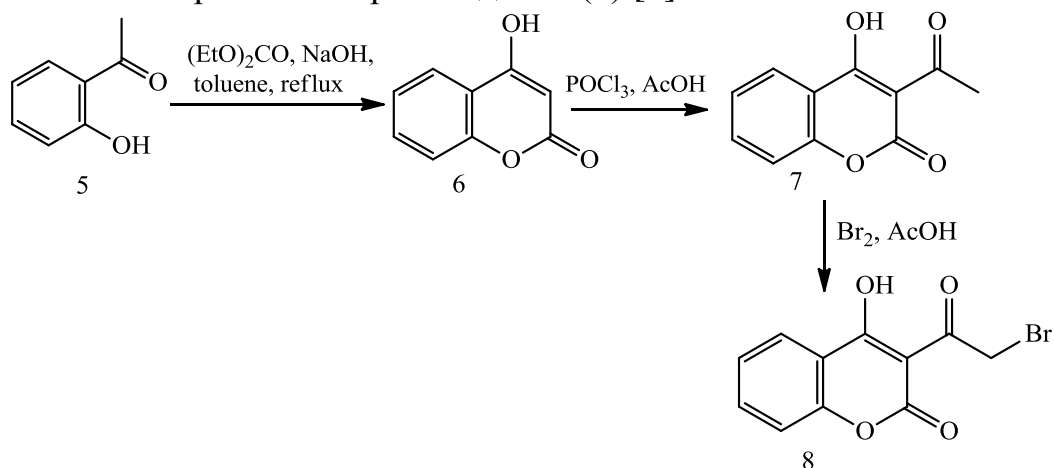
Целью данной работы является литературный обзор и систематизация методов синтеза и модификации производных гидроксикумаринов как основы для биологически активных соединений и новых материалов.

П-толуолсульфоновая кислота катализирует реакцию 3-ацетил-4-гидрокси-хромен-2-она (1) и аминов (2) при нагревании под воздействием микроволн. Восстановление иминопроизводных 4-гидрокси-хромен-2-она (3) до аминов (4) борогидридом натрия в MeOH/THF (8:2). Продукты реакции очищали колоночной хроматографией (бензол : ацетон = 8:2). Таким путем получены амины (4) [1].

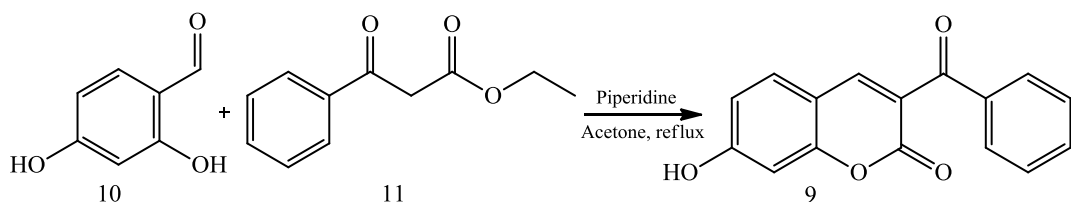


R = Ph, p-tolyl, m-tolyl, o-tolyl, p-NO<sub>2</sub>-phenyl, m-NO<sub>2</sub>-phenyl, benzyl, ω-C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>COOH.

В конвергентном синтезе реакция 2-гидроксиацетофенона (5) с диэтилкарбонатом и гидридом натрия в кипящем толуоле дала 4-гидроксикумарин (6) с выходом 69%, который в дальнейшем превращен в 3-ацетилированное производное (7). Обработка 2-ацетил-4-гидроксикумарина (7) бромом в уксусной кислоте при 100°C привела к образованию *α*-бромметилпроизводного (8) [2].

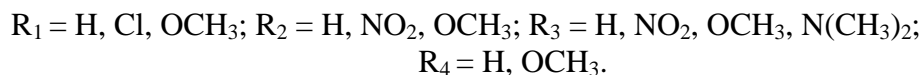
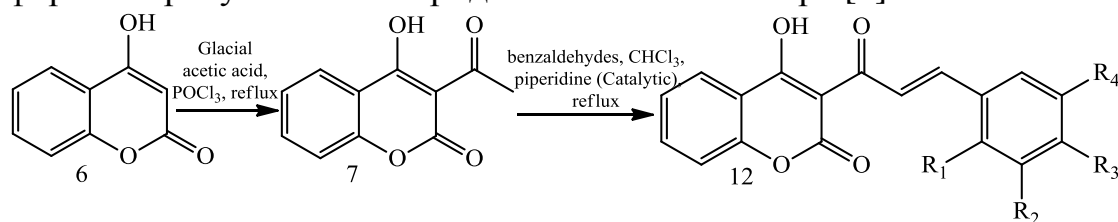


Синтез 3-бензоил-7-гидроксикумарина (9) осуществлен конденсацией 2,4-дигидроксибензальдегида (10) с этилбензоилацетатом (11) в кипящем ацетоне в присутствии пиперидина [3].



Синтез кумаринилхалконов (12) был осуществлен двухэтапной процедурой. Первая стадия включала синтез предшественника 4-гидрокси-3-ацетилкумарина (7) путем взаимодействия 4-гидроксикумарина (6) с

оксихлоридом фосфора и ледяной уксусной кислотой. Вторая стадия включала конденсацию Кнёвенагеля между 4-гидрокси-3-ацетилкумарином (7) и замещенными бензальдегидами в кипящем хлороформе в присутствии пиперидинового катализатора [4].



В ряду синтезированных производных гидроксикумаринов были найдены соединения, проявившие высокую биологическую активность. Эти соединения имеют значительный исследовательский интерес в вопросах изучения особенностей их таутомерного строения и реакционной способности, так как являются полифункциональными блок-синтонами в других синтезах гетероциклов. Таким образом, рассматриваемый класс органических гетероциклических веществ является весьма перспективным как в теоретическом, так и прикладном аспекте.

#### Список литературы

1. Vukovic N. Substituted imino and amino derivatives of 4-hydroxycoumarins as novel antioxidant, antibacterial and antifungal agents: Synthesis and *in vitro* assessments / N. Vukovic, S. Sukdolak, S. Solujic, N. Niciforovic // Food Chemistry – 2010. – Vol. 120, №4. – P. 1011–1018. – DOI:10.1016/j.foodchem.2009.11.040.
2. M. H. Manyeruke Convergent synthesis and biological evaluation of 3-[2-(benzylidenehydrazinyl)thiazol-4-yl]-4-hydroxycoumarins / M. H. Manyeruke, T. Tshiwawa, H. C. Hoppe, M. Isaacs, R. Seldon, D. F. Warner, R. W.M. Krause, P. T. Kaye // Arkivos –2022. – №5. – P. 159 – 166. – URL: <https://doi.org/10.24820/ark.5550190.p011.725> (дата обращения: 26.09.2023).
3. Kurt A. Preparation of Novel Coumarin Cyclic Polymer/Montmorillonite Based Nanocomposites / A. Kurt, O. K. Topsoy // Russ. J. Appl. Chem. – 2017. – Vol. 90, №12. – P. 2019–2027. – DOI: 10.1134/S1070427217120199.
4. Patel K. Synthesis of Some Coumarinyl Chalcones and their Antiproliferative Activity Against Breast Cancer Cell Lines / K. Patel, C. Karthikeyan, V. R. Solomon, N.S. H. N. Moorthy, H. Lee, K. Sahu, G. S. Deora, P. Trivedi // Lett. Drug. Des. Discov. – 2011. – Vol. 8, №4. – P. 308–311. – DOI: 10.2174/157018011794839475.

## ОДНОРЕАКТОРНЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА АЛКИЛПРОИЗВОДНЫХ ИЗОХИНОЛИНКАРБОНИТРИЛА

*Сукач С.М.*

ФГБОУ ВО «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск, РФ  
*svetlana\_genzyr@mail.ru*

Разработка методов синтеза изохинолинов – актуальное и перспективное направление, так как этот структурный фрагмент содержится во многих природных биологически активных веществах и ряде лекарственных препаратов.

Целью данного исследования является изучение условий получения алкилпроизводных изохинолинов из  $\beta$ -кетола, цианотиоацетамида и алкилгалогенида в одну технологическую операцию.

Установлено, что многокомпонентная конденсация 2,4-диацетил-5-гидрокси-5-метил-3-(4-этилфенил)циклогексанона **1** с цианотиоацетамидом **2** и 2-хлорацетамидом **3** в присутствии морфолина в этаноле при нагревании до 60°C приводит к образованию 2-{[7-ацетил-6-гидрокси-1,6-диметил-4-циано-8-(4-этилфенил)-5,6,7,8-тетрагидроизохинолин-3-ил]сульфанил}ацетамида **4** (метод *а*). Вероятно, реакция протекает через последовательные стадии промежуточного образования алкена Кневенагеля **A** и 3-меркаптоизохинолина **B**, который далее в основной среде региоселективно алкилируется до тиоэфира **4**.

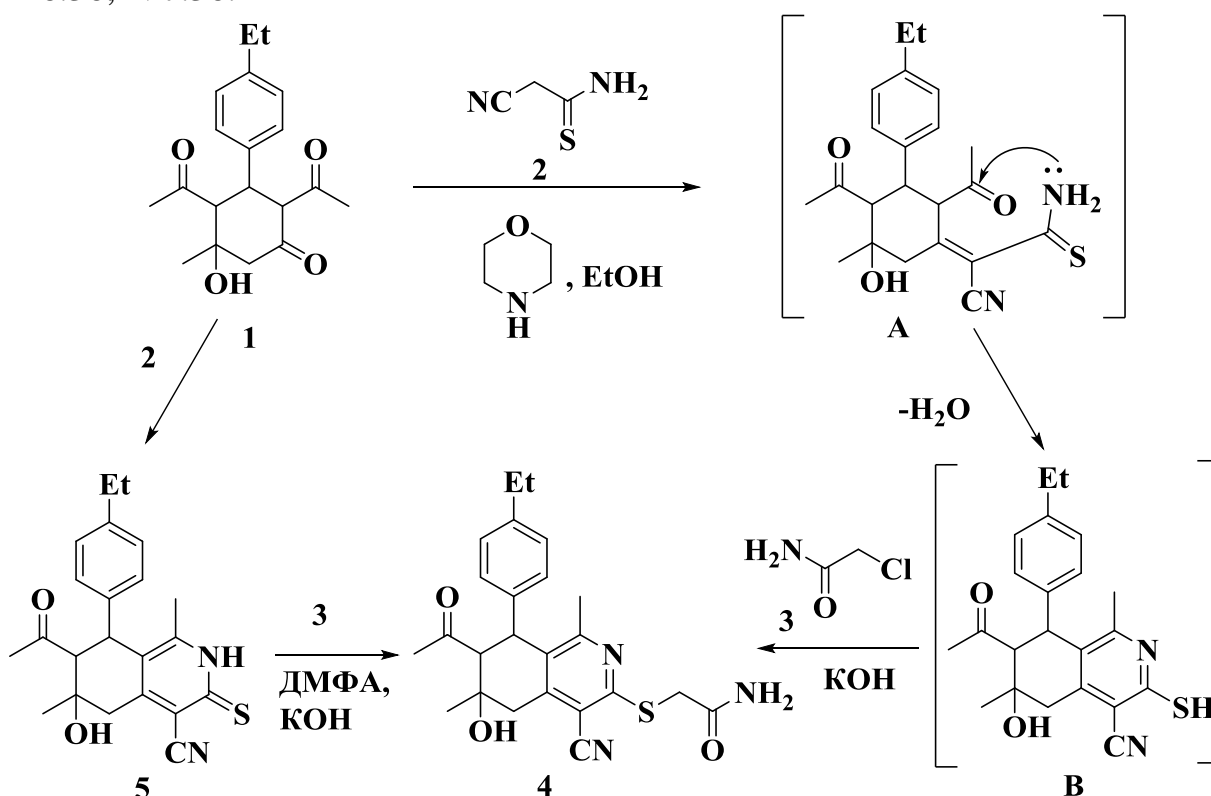
В аналогичных условиях, но в отсутствие алкилирующего агента, можно выделить промежуточный продукт данного взаимодействия – 7-ацетил-2,3,5,6,7,8-гексагидро-6-гидрокси-1,6-диметил-3-тиоксо-8-(4-этилфенил)изохинолин-4-карбонитрил **5**, который при дальнейшем взаимодействии с алкилгалогенидом **3** в ДМФА в присутствии КОН образует продукт **4** (метод *б*).

Строение всех синтезированных соединений подтверждено данными ИК-, масс- и ЯМР<sup>1</sup>H-спектроскопии.

**2-{[7-Ацетил-6-гидрокси-1,6-диметил-4-циано-8-(4-этилфенил)-5,6,7,8-тетрагидроизохинолин-3-ил]сульфанил}ацетамид **4**.** Выход 3.0 г (69 %) (метод *а*), 2,5 г (75%) (метод *б*), светло-желтый порошок, т. пл. 201-203°C (BuOH). ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 3490 (ОН), 3407, 3267, 3197 (NH<sub>2</sub>), 2221 (C≡N), 1703 (C=O), 1657 (NH<sub>2</sub>-C=O). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H,  $\delta$ , м. д.: 1.19 т (3H, CH<sub>2</sub>Me, *J* 7.5 Гц), 1.28 с (3H, Me), 1.98 с (3H, Me), 2.05 с (3H, Me), 2.58 к (2H, CH<sub>2</sub>Me, <sup>2</sup>*J* 7.5 Гц), 2.89-2.94 м (2H, C<sup>5</sup>H и C<sup>7</sup>H), 3.09 д (2H, C<sup>5</sup>H, <sup>2</sup>*J* 17.1 Гц), 3.77 д (1H, SCH<sub>2</sub>, <sup>2</sup>*J* 15.1 Гц), 3.87 д (1H, SCH<sub>2</sub>, <sup>2</sup>*J* 15.1 Гц), 4.42 д (1H, C<sup>8</sup>H, *J* 10.2 Гц), 4.66 уш. с (1H, OH), 6.87 д (2H, H<sub>аром.</sub>, *J* 7.8 Гц), 6.99 уш. с (1H, NH<sub>2</sub>), 7.05 д (2H, H<sub>аром.</sub>, *J* 7.8 Гц), 7.37 уш. с (1H, NH<sub>2</sub>). Масс-

спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн.}}$ , %): 438 (7)  $[M+1]^+$ , 437 (31)  $[M]^+$ , 395 (22)  $[M - \text{CH}_3\text{CO} + \text{H}]^+$ , 394 (100)  $[M - \text{CH}_3\text{CO}]^+$ , 379 (24)  $[M - \text{CH}_2\text{CONH}_2]^+$ , 377 (31)  $[M - \text{H}_2\text{O} - \text{CH}_3\text{CO} + \text{H}]^+$ , 376 (35)  $[M - \text{H}_2\text{O} - \text{CH}_3\text{CO}]^+$ , 359 (72), 331 (63), 319 (48), 227 (10), 115 (4), 43 (80)  $[\text{CH}_3\text{CO}]^+$ . Найдено, %: С 65.70; Н 6.01; N 9.48.  $\text{C}_{24}\text{H}_{27}\text{N}_3\text{O}_3\text{S}$ . Вычислено, %: С 65.88; Н 6.22; N 9.60.

**7-Ацетил-2,3,5,6,7,8-гексагидро-6-гидрокси-1,6-диметил-3-тиоксо-8-(4-этилфенил)изохинолин-4-карбонитрил 5.** Выход 2.0 г (88%), желтый порошок, т. пл. 240-245°C. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ : 3442 (ОН), 3267 (NH), 2222 ( $\text{C}\equiv\text{N}$ ), 1701 ( $\text{C}=\text{O}$ ). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д.: 1.13 т (3H,  $\text{CH}_2\text{Me}$ ,  $J$  7.6 Гц), 1.23 с (3H, Me), 1.85 с (3H, Me), 2.10 с (3H, Me), 2.54 кв (2H,  $\text{CH}_2\text{Me}$ ,  $J$  7.6 Гц), 2.82-2.88 м (2H,  $\text{C}^5\text{H}$  и  $\text{C}^7\text{H}$ ), 3.18 д (1H,  $\text{C}^5\text{H}$ ,  $^2J$  17.6 Гц), 4.36 д (1H,  $\text{C}^8\text{H}$ ,  $J$  10.3 Гц), 4.95 уш. с (1H, ОН), 6.97 д (2H,  $\text{CH}_{\text{аром.}}$ ,  $J$  7.9 Гц), 7.09 д (2H,  $\text{CH}_{\text{аром.}}$ ,  $J$  7.9 Гц), 13.77 уш. с (1H, NH). Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн.}}$ , %): 380 (1)  $[M]^+$ , 362 (5)  $[M - \text{H}_2\text{O}]^+$ , 320 (29)  $[M + \text{H} - \text{H}_2\text{O} - \text{CH}_3\text{CO}]^+$ , 319 (100)  $[M - \text{H}_2\text{O} - \text{CH}_3\text{CO}]^+$ , 318 (6)  $[M - 2\text{H} - \text{H}_2\text{O} - \text{CH}_3\text{CO}]^+$ , 305 (5)  $[M - \text{H}_2\text{O} - \text{CH}_3\text{CO} - \text{CH}_3]^+$ , 291 (5), 215 (6), 43 (27)  $[\text{CH}_3\text{CO}]^+$ , 32 (9). Найдено, %: С 69.30; Н 6.16; N 7.22.  $\text{C}_{22}\text{H}_{24}\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$ . Вычислено, %: С 69.44; Н 6.36; N 7.36.



Данный метод синтеза является удобным благодаря простоте препаративного эксперимента и позволяет с хорошими выходами одnoreакторно получать целевой продукт.



## СИНТЕЗ И АНТИДОТНАЯ АКТИВНОСТЬ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ НА ОСНОВЕ 5-АМИНО-3-(ЦИАНОМЕТИЛ)-1Н- ПИРАЗОЛ-4-КАРБОНИТРИЛА

*Степанова С.Ф., Семенова А.М.,  
Доценко В.В., д-р хим. наук, проф.*

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар, РФ  
*s.f-step@mail.ru*

**Введение.** Из литературных данных известно, что 5-амино-3-(цианометил)-1Н-пиразол-4-карбонитрил **1** и его производные обладают широким спектром биологической активности, оказывая противогрибковое, противовоспалительное, антибактериальное, а также фунгицидное действие, в связи с чем находят достаточно широкое применение в агрохимической и фармацевтической промышленности [1, 2].

**Цель** нашей работы – получение новых производных 5-амино-3-(цианометил)-1Н-пиразол-4-карбонитрила **1** и изучение их биологической активности.

**Основная часть.** 5-Амино-3-(цианометил)-1Н-пиразол **1** был получен по известной методике взаимодействием малононитрила **2** с гидразин-гидратом [3].

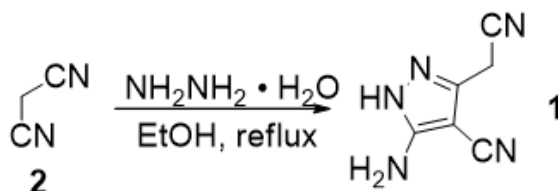


Схема 1. Получение 5-амино-3-(3цианометил)-1Н-пиразол-4-карбонитрила

Нами была изучена реакция конденсации 5-амино-3-(цианометил)-1Н-пиразол-4-карбонитрила **1** с некоторыми ароматическими альдегидами. Было установлено, что реакция протекает по активной метиленовой группе аминопиразола **1**, а не по аминогруппе.

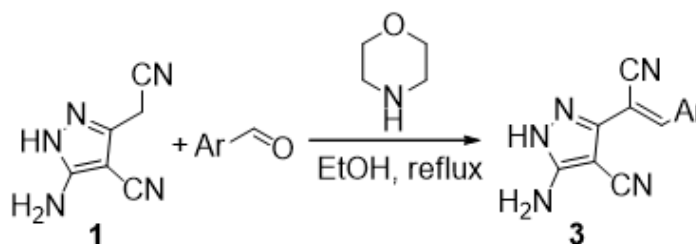


Схема 2. Конденсация 5-амино-3-(цианометил)-1Н-пиразол-4-карбонитрила **1** с ароматическими альдегидами

Полученные 5-амино-3-(2-арил-1-циановинил)-1H-пиразол-4-карбонитрилы **3** были введены в реакцию с анилином и формалином. В результате нами были получены ранее не описанные продукты аминотилирования по Манниху **4** с высокими выходами (59-71 %).

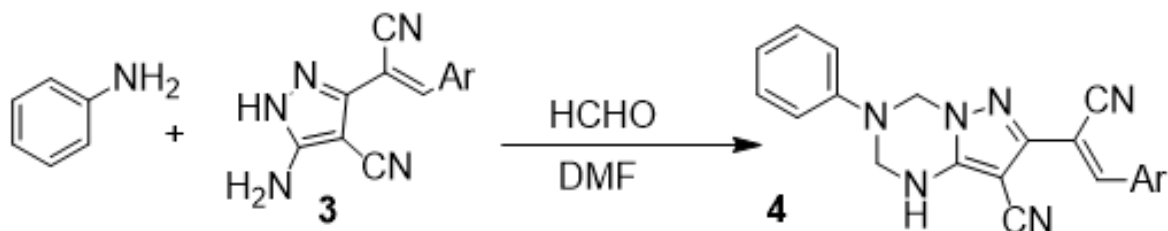


Схема 3. Аминотилирование 5-амино-3-(2-арил-1-циановинил)-1H-пиразол-4-карбонитрилов **3**

Строение продуктов было подтверждено данными ИК и ЯМР  $^1\text{H}$  и ЯМР  $^{13}\text{C}$  спектроскопии. Соединение **1** также было детально охарактеризовано данными рентгеноструктурного анализа.

Для некоторых продуктов аминотилирования **4** были спрогнозированы возможные протеиновые мишени с использованием нового протокола протеин-лигандного докинга GalaxySagittarius на базе веб-сервера GalaxyWeb. Докинг проводился в режимах Binding compatibility prediction и Re-ranking using docking. Прогнозируемые протеиновые мишени указаны с помощью ID-идентификаторов в Protein Data Bank (PDB).

Таблица 1

Результаты прогнозирования протеин-лигандного взаимодействия

Структура	PDB ID	Predock score	Docking score	Score
<p><b>4a</b></p>	3FLY	0.214	-23.903	0.394
	3WZE	0.185	-23.442	0.361
<p><b>4b</b></p>	2OFV	0.186	-25.471	0.377
	3GFE	0.201	-24.200	0.382

Как можно заметить из данных, представленных в таблице 1, для соединения **4a** наиболее выражено сродство к ингибиторам киназы (3FLY) и мультикиназы (3WZE), а для соединения **4b** - ингибиторам лимфоцит-специфической киназы Lck (2OFV) и митоген-активируемой киназы (3GFE).

Также для соединений **4a** и **4b** была проведена оценка защиты растений подсолнечника от фитотоксического действия гербицида 2,4-дихлорфеноксисукусной кислоты (2,4-Д).

Из литературных источников известно, что подсолнечник является чрезвычайно чувствительной культурой к гормональным гербицидам группы 2,4-дихлорфеноксисукусной кислоты (2,4-Д), в случаях непреднамеренного попадания гербицида на его посевы, потери могут составлять, в зависимости от дозы, вплоть до 100 %

Для изучения антидотного эффекта использовалась методика, описанная в работе [4]. Было обнаружено, что соединения **4a** и **4b** проявляют достаточно высокую антидотную активность по отношению к гербициду 2,4-Д на проростках подсолнечника. Соединение **4a** снижает отрицательное действие гербицида 2,4-Д на 31-58 % на гипокотили и на 39-54 % на корни, а соединение **4b** – на 48-63 % и 52-62 % соответственно. В ходе первичного скрининга было выявлено, что полученные соединения не обладают фитотоксическим действием. Соединения активны во всех концентрациях от  $10^{-2}$  до  $10^{-5}$  масс. %, что свидетельствует об общем иммуностимулирующем действии на культуры подсолнечника.

**Заключение.** Нами были получены ранее не описанные 7-(2-арил-1-циановинил)-1,2,3,4-тетрагидропиразоло[1,5-a][1,3,5]триазин-8-карбонитрилы **4** и исследована антидотная активность соединений по отношению к гербициду 2,4-Д на проростках подсолнечника.

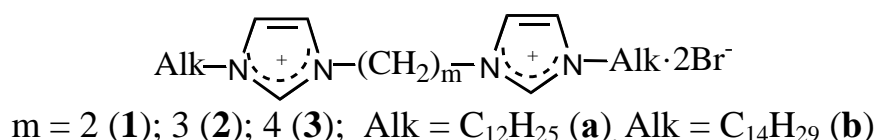
#### Список литературы

1. Metwally N. H., Mohamed M. S., Ragab E. A. Synthesis of some novel N5-sulfonylated and N1-alkylated pyrazole derivatives and their antimicrobial activity in conjunction with molecular docking study // *Journal of Heterocyclic Chemistry*. – 2020. – Vol. 57. – № 4. – P. 1698–1713.
2. Metwally N. H., Mohamed M. S., Ragab E. A. Design, synthesis, anticancer evaluation, molecular docking and cell cycle analysis of 3-methyl-4,7-dihydropyrazolo[1,5-a]pyrimidine derivatives as potent histone lysine demethylases (KDM) inhibitors and apoptosis inducers // *Bioorganic Chemistry*. – 2019. – Vol. 88. – № 102929.
3. Taylor E.C., Hartke K.S. The Reaction of Malononitrile with Hydrazine // *Journal of the American Chemical Society*. 1959., Vol. 81., № 10., P. 2452–2455.
4. Стрелков В.Д., Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г. Синтез новых гербицидных антидотов для подсолнечника. Краснодар. Просвещение – Юг, 2014.

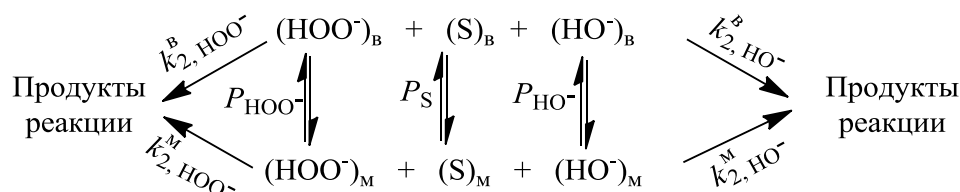
## ГИДРОПЕРОКСИД-ИОН В ПРОЦЕССАХ РАЗЛОЖЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ АНАЛОГОВ ЭКОТОКСИКАНТОВ. ОРГАНИЗОВАННЫЕ МИКРОГЕТЕРОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ

*Туровская М.К.*, канд. хим. наук,  
*Прокопьева Т.М.*, канд. хим. наук, ст. науч. сотр., *Гайдаш Т.С.*  
ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии  
им. Л.М.Литвиненко», Донецк, РФ  
*ninarazumova45@gmail.com*

В настоящей работе изучены кинетические закономерности пероксигидролиза 4-нитрофениловых эфиров фосфоновой (NPDEPN) и фосфорной (NPDEP) кислот в организованных микрогетерогенных системах (ОМС) на основе димерных катионных ПАВ (варьирование числа метиленовых связей и структуры Alk), проанализированы факторы, ответственные за мицеллярный катализ в реакциях с  $\alpha$ -нуклеофилом и «нормальным» –гидроксид-анионом.



В ОМС на основе ПАВ в присутствии пероксида водорода субстрат (S) взаимодействует с анионами HO<sup>-</sup> и HOO<sup>-</sup>. Обе реакции протекают как в водной, так и в мицеллярной псевдофазах:



В ОМС реакция пероксида водорода с ацилсодержащими субстратами включает четыре параллельных маршрута. Однако различия в наблюдаемых скоростях реакций пероксигидролиза и щелочного гидролиза достигают ~ 10 раз, и они сохраняются во всей исследованной области концентраций  $c_0$ . Например, при  $c_0 = \text{const} = 8 \cdot 10^{-4}$  моль/л,  $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 5 \cdot 10^{-4}$  моль/л и pH = 11.0 отношение  $k_{\text{набл. HOO}^-}^{\text{м}} / k_{\text{набл. HO}^-}^{\text{м}}$  в присутствии димерного ПАВ **2a** для пероксигидролиза NPDEPN составляет ~ 8 раз. Поэтому вкладом щелочного гидролиза можно пренебречь.

Сравнительный анализ закономерностей кинетического поведения «нормального» (HO<sup>-</sup>-ион) и  $\alpha$ -нуклеофила (HOO<sup>-</sup>-ион) в реакциях

щелочного гидролиза и пероксигидролиза свидетельствует о том, что они являются общими для этих реакций нуклеофильного замещения. Следует отметить, что, как и в случае гидролиза, димерные ПАВ заметно ускоряют пероксигидролиз субстратов.

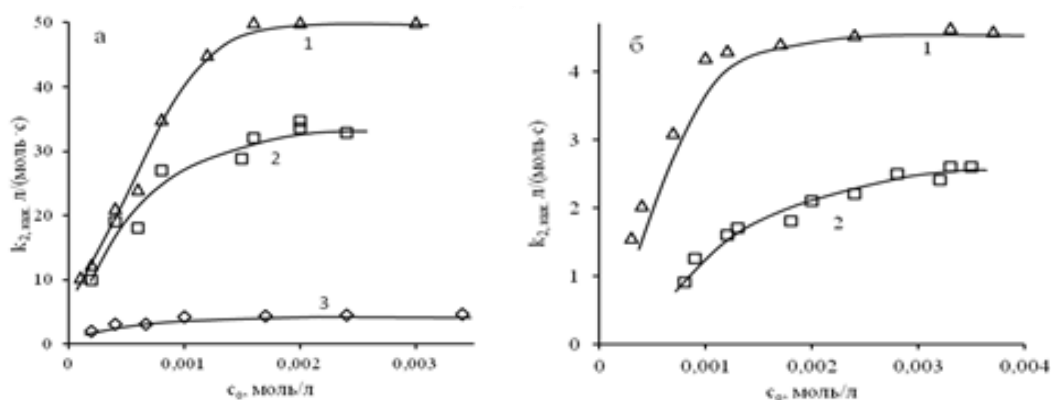


Рис. Зависимость величин  $k_{2, \text{каж.}}$ , л/(моль·с) от концентрации ПАВ для реакции пероксигидролиза: а) NPDEPN (1), NPOTos (2), NPDEP (3) в присутствии **2b**; б) NPDEP в присутствии **2b** (1); **2a** (2); pH 11.0; вода; 25°C

Таблица  
Физико-химические характеристики пероксигидролиза NPDEPN и NPDEP в ОМС на основе димерных катионных ПАВ; pH = 11.0; вода, 25°C

ПАВ	Субстрат	$K_S$ , л/моль	$K_{\text{HOO}^-}$ , л/моль	$k_{2, \text{HOO}^-}^M$ , л/(моль·с)	$k_{2, \text{HOO}^-}^M / k_{2, \text{HO}^-}^M$
<b>2a</b>	NPDEPN	230 ± 70	30	2.33	61
	NPDEP	160 ± 20	30	0.23	52
<b>2b</b>	NPDEPN	390 ± 90	30	2.05	17
	NPDEP	800 ± 150	30	0.13	-
<b>1a</b>	NPDEPN	350	50	3.80	64
	NPDEP	295	50	0.27	108
<b>1b</b>	NPDEPN	590	80	2.40	-
	NPDEP	550	80	0.16	70
<b>3a</b>	NPDEP	240	45	0.20	57
<b>3b</b>	NPDEPN	550	80	2.95	-
	NPDEP	290	60	0.24	58

Определяющую роль в мицеллярных эффектах играют гидрофобные свойства ПАВ/субстрата, а основным фактором, ответственным за мицеллярный катализ, выступают эффекты концентрирования реагентов. При этом  $\alpha$ -эффект гидропероксид-иона, охарактеризованный отношением констант скорости второго порядка пероксигидролиза и щелочного гидролиза, сохраняется и в зависимости от природы ПАВ/субстрата может составлять  $\geq 100$  раз.

## ИЗУЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КУКУРУЗНОГО КРАХМАЛА

*Тюриня Т. Г.<sup>1</sup>*, д-р хим. наук, *Крюк Т. В.<sup>1</sup>*, канд. хим. наук,  
*Романенко Н. А.<sup>1</sup>*, *Сиверский А. В.<sup>1</sup>*, *Попова О. С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии  
им. Л. М. Литвиненко», г. Донецк, РФ

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий национальный университет экономики и торговли  
им. М. Туган-Барановского», г. Донецк, РФ  
*ktvl2010@mail.ru*

В настоящее время биоразлагаемые полимеры составляют конкуренцию полимерам на нефтяной основе в определенных сегментах рынка, в частности, как упаковка для пищевых продуктов [1]. В последние годы было проведено много исследований, направленных на разработку инновационной упаковки пищевых продуктов с использованием синтетических (полимолочная кислота, поливиниловый спирт (ПВС), др.) и природных полимеров, таких как хитозан, желатин, альгинаты, крахмал (Кр), производные целлюлозы [2, 3].

Преимуществом растительных полисахаридов является их возобновляемость и низкая стоимость, однако, получаемые из них пленочные материалы характеризуются низкими физико-механическими свойствами. В связи с этим актуальными являются исследования, направленные на разработку составов полимерных композиций с улучшенными эксплуатационными свойствами.

Целью данной работы было изучение свойств пленок на основе кукурузного крахмала, включающих в качестве полимерной основы также добавки карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) и поливинилового спирта.

Пленки толщиной  $0,10 \pm 0,02$  мм получали методом полива, их состав представлен в табл. 1. Кр предварительно желатинировали в бидистиллированной воде при  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 40 мин при постоянном перемешивании. КМЦ и ПВС растворяли в горячей бидистиллированной воде. Полученные растворы смешивали в необходимых соотношениях, вносили пластификатор (глицерин, Гл), сшивающий агент (лимонная кислота, ЛК) и перемешивали при  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 0,5 ч, охлаждали до комнатной температуры, выдерживали в течение суток для деаэрации, разливали на чашки Петри и отверждали в дегидраторе ( $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 24 ч).

Были определены следующие параметры пленок: массовая доля геля ( $G$ ), степень набухания ( $DS$ ), скорость пропускания водяного пара ( $WVP$ ), прочность при растяжении (ПР) и относительное удлинение при разрыве (ОУР). Данные характеристики напрямую определяют способность пленочного материала выполнять потребительские функции. Доля геля

указывает на степень сшивки полимерных цепей друг с другом: чем больше  $G$ , тем выше степень образования поперечных связей между полимерными цепями, что, в свою очередь, обуславливает уровень физико-механических свойств пленок, например, их способность набухать и пропускать влагу и газы из окружающей среды. В свою очередь, высокая степень набухания и пропускание большого количества влаги пленкой приводит к формированию благоприятной среды для преждевременного микробиологического разложения пищевых продуктов. При этом упаковочные материалы должны быть эластичными, способными к небольшому (от 5 % [4]) растяжению, многократному сгибанию и разгибанию, что невозможно при полной сшивке макромолекул. Значения  $G$ ,  $DS$  рассчитывали, как описано в [5],  $WVP$  – в [6], ПП, ОУР – в соответствии с требованиями [4].

Таблица 1

Состав пленочных материалов

Обозначение состава	Масса, г				
	Кр	КМЦ	ПВС	Гл	ЛК
ПВС7Гл20	1,2	0,3	0,105	0,303	0,105
ПВС7Гл25	1,2	0,3	0,105	0,378	0,105
ПВС7Гл50	1,2	0,3	0,105	0,757	0,105
ПВС10Гл20	1,2	0,3	0,150	0,303	0,105
ПВС10Гл25	1,2	0,3	0,150	0,378	0,105
ПВС10Гл50	1,2	0,3	0,150	0,757	0,105
ПВС15Гл20	1,2	0,3	0,225	0,303	0,105
ПВС15Гл25	1,2	0,3	0,225	0,378	0,105
ПВС15Гл50	1,2	0,3	0,225	0,757	0,105

Все полученные пленки были гладкими, ровными и прозрачными, легко сгибались и незначительно растягивались, после чего быстро возвращались к исходной форме без потери целостности. Образцы с содержанием пластификатора 25 и 50 мас.% тактильно ощущались как более эластичные.

Результаты измерения эксплуатационных параметров пленок сведены в табл. 2. Как видно, доля геля составляет от 67 до 78 %, с повышением количества Гл наблюдается отчетливая тенденция к снижению  $G$ , т.е. пластификатор, встраиваясь между макромолекулами, препятствует их сближению и образованию последующей сшивки. «Желательным» уровнем набухания ( $\square 300$  %) характеризуются образцы с содержанием ПВС 15,5 мас.% (как известно [7], гидрогели со степенью набухания более 260 % относятся к суперадсорбентам). Все пленки имеют достаточно низкую скорость пропускания водяного пара; при этом данный показатель повышается с увеличением содержания Гл. Данные по величинам прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве получены только для пленок, содержащих 25 и 50 мас.% Гл. Из

них прослеживается зависимость роста этих параметров с повышением содержания ПВС, снижение ПП и повышение ОУР с увеличением количества пластификатора. Требованиям [4] отвечают образцы, в которых концентрация Гл составляет 25 мас.% (ПР более 14 МПа).

Таблица 2

Свойства пленочных материалов

Образец	<i>G</i> , %	<i>DS</i> , %	<i>WVP</i> , г·мм/(м <sup>2</sup> ·ч·Па)	ПР, МПа	ОУР, %
ПВС7Гл20	75	663	$2,4 \cdot 10^{-8}$	–	–
ПВС7Гл25	78	782	$4,4 \cdot 10^{-8}$	16,5	23
ПВС7Гл50	67	766	$6,9 \cdot 10^{-8}$	4,8	94
ПВС10Гл20	73	606	$2,7 \cdot 10^{-8}$	–	–
ПВС10Гл25	67	598	$4,8 \cdot 10^{-8}$	17,3	26
ПВС10Гл50	67	684	$6,0 \cdot 10^{-8}$	5,4	93
ПВС15Гл20	76	296	$2,9 \cdot 10^{-8}$	–	–
ПВС15Гл25	72	332	$4,7 \cdot 10^{-8}$	22,6	40
ПВС15Гл50	67	295	$5,4 \cdot 10^{-8}$	7,4	110

Полученные результаты показали, что пленки состава кукурузный крахмал/КМЦ/ПВС/Гл/ЛК с содержанием поливинилового спирта не менее 10 мас.%, глицерина – 25 мас.%. можно рассматривать как потенциальные упаковочные материалы для пищевых продуктов.

### Список литературы

1. Filiciotto, L. Biodegradable plastics: Standards, policies, and impacts / L. Filiciotto, G. Rothenberg // *ChemSusChem*. – 2021. – Vol. 14. – P. 56–72. – DOI: 10.1002/cssc.202002044.
2. Attaran, S. A. Materials for food packaging applications based on bio-based polymer nanocomposites: A review / S. A. Attaran, A. Hassan, M. U. Wahit // *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. – 2017. – Vol. 30, No. 2. – P. 143–173. – DOI: 10.1177/0892705715588801.
3. Wypij, M. The strategic applications of natural polymer nanocomposites in food packaging and agriculture: Chances, challenges, and consumers' perception / M. Wypij, J. Trzcińska-Wencell, P. Golińska [et al.] // *Frontiers in Chemistry*. – 2023. – Vol. 10. – P. 1106230. – DOI: 10.3389/fchem.2022.1106230.
4. ГОСТ Р 57432-17. Упаковка. Пленки из биоразлагаемого материала. Общие технические условия. – Введ. 2017-10-01. – М. : Стандартинформ, 2019. – 8 с.
5. Noè, C. Light processable starch hydrogels / C. Noè, C. Tonda-Turo, A. Chiappone, M. Sangermano // *Polymers*. – 2020. – Vol. 12, No. 6 – P. 1359–1372. – DOI: 10.3390/polym12061359.
6. Charles, A. L. A comprehensive characterization of biodegradable edible films based on potato peel starch plasticized with glycerol / A. L. Charles, N. Motsa, A. A. Abdillah // *Polymers*. – 2022. – Vol. 14. – P. 3462. – DOI: 10.3390/polym14173462.
7. Pal, K. Preparation and characterization of polyvinyl alcohol-gelatin hydrogel membranes for biomedical applications / K. Pal, A. K. Banthia, D. K. Majumdar // *AAPS PharmSciTech*. – 2007. – Vol. 8, No. 1. – P. E142-E146. – DOI: 10.1208/pt080121.

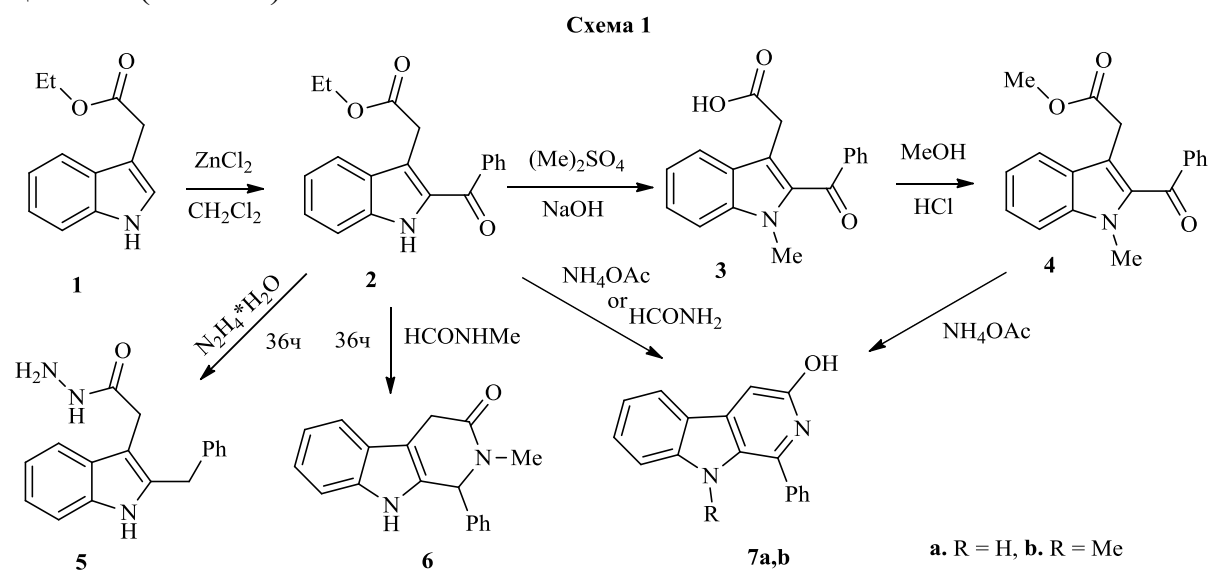


## РЕАКЦИИ ГЕТЕРОЦИКЛИЗАЦИИ ДИ- И ТРИКАРБОНИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ИНДОЛА

**Харанеко А.О.**, канд. хим. наук, **Харанеко О.И.**, канд. хим. наук  
ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М.Литвиненко»,  
г. Донецк, РФ  
antonhar08@rambler.ru

Гетероциклические *o*-дикарбонильные производные, в которых карбонильные атомы углерода разделены цепочкой из трех углеродных атомов, можно рассматривать как синтетические аналоги 1,5-дикарбонильных соединений.

Мы нашли, что этил(2-бензоил-1*H*-индол-3-ил)ацетат **2** и метил(2-бензоил-1*H*-индол-3-ил)ацетат **4** в зависимости от используемого гетероциклизирующего агента может быть превращен в производное  $\beta$ -карболина с ароматическим или частично гидрированным пиридиновым циклом (схема 1).



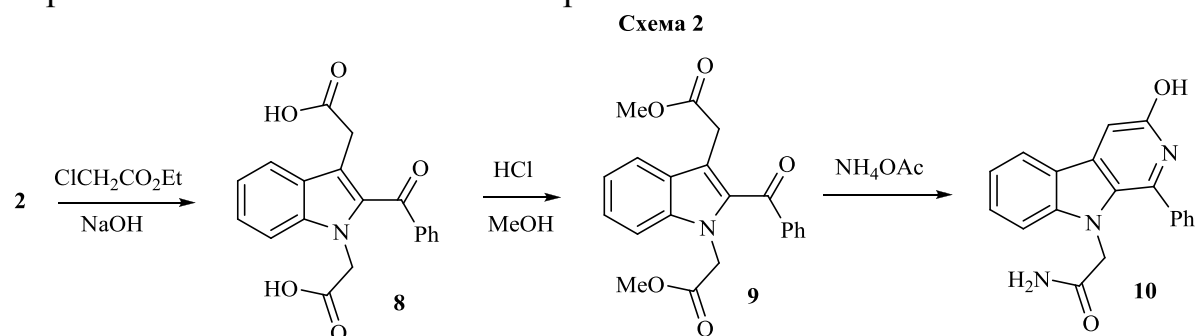
При кипячении индола **2** в *N*-метилформамиде в течение 20 ч образуется 2-метил-1-фенил-1,2,4,9-тетрагидро-3*H*- $\beta$ -карболин-3-он **6**. Нагревание кетоэфиров **2** или **4** с избытком ацетата аммония при 165°C в течение 2 ч с количественным выходом даёт 1-фенил-9*H*- $\beta$ -карболин-3-ол **7a** или 9-метил-1-фенил-9*H*- $\beta$ -карболин-3-ол **7b**. Индол **4** получали этерификацией кислоты **3** – продукта алкилирования кетоэфира **2** диметилсульфатом.

Известно, что эфиры гетероциклических кетокарбоновых кислот в реакции с гидразином могут приводить к продуктам с аннелированным diazepиноновым циклом. Однако при длительном кипячении индола **2** в

гидразингидрате образуется 2-(2-бензил-1*H*-индол-3-ил)ацетогидразид **5**.

Можно было ожидать, что при использовании в качестве исходного реагента диметил-2,2'-(2-бензоил-1*H*-индол-1,3-диил)диацетата **9** в реакции гетероциклизации ацетатом аммония образуются продукты двух конкурентных реакций – продукты с аннелированным шестичленным циклом по грани *a* и *b* пиррола. Однако при нагревании индола **9** с ацетатом аммония при 165°C в течение 2 ч с выходом 45% был получен 2-(3-гидрокси-1-фенил-9*H*-β-карболин-9-ил)ацетамид **10** (схема 2).

Соединение **9** получали алкилированием индола **2** этиловым эфиром монохлоруксусной кислоты с последующей этерификацией образовавшегося **8** метиловым спиртом.

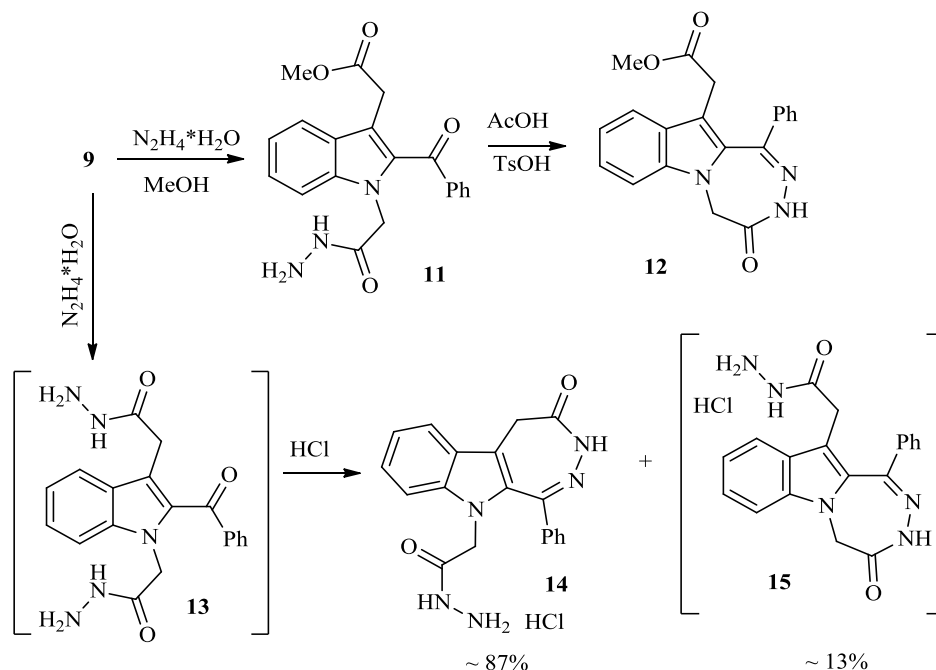


Известно, что при циклизации этил-2-(3-ацил-метилиндола)ацетатов и метиловых эфиров 2-ацетил-3-индолилуксусной кислоты под воздействием гидразингидрата были получены 3*H*-[1,2]дiazепино[5,6-*b*]индолы и 1*H*-[1,2]дiazепино[4,5-*b*]индолы, соответственно. 1-Фенацил-2-бензоил-3-метилиндола под действием гидразингидрата превращается в 1,4-дифенил-5-метилиндола[2,1-*c*]-1,2,5-триазепин. Поэтому при гетероциклизации индола **9** гидразингидратом можно было ожидать образование продуктов конкурентных реакций – индоло-1,2-дiazепина и индоло-1,2,5-триазепина.

Мы нашли, что превращение эфирной группы в гидразид у заместителя при азоте в соединении **9** (схема 3) протекает в более мягких условиях, чем для эфирной группы в положении С(3) индольного ядра. При кипячении в течение четырёх часов соединения **9** в метаноле с избытком гидразингидрата с количественным выходом образуется метил[2-бензоил-1-(2-гидразино-2-оксоэтил)-1*H*-индол-3-ил]ацетат **11**. Циклизация **11** в уксусной кислоте (AcOH) приводит к метил (4-оксо-1-фенил-4,5-дигидро-3*H*-[1,2,5]триазепино[5,4-*a*]индол-11-ил)ацетату **12**.

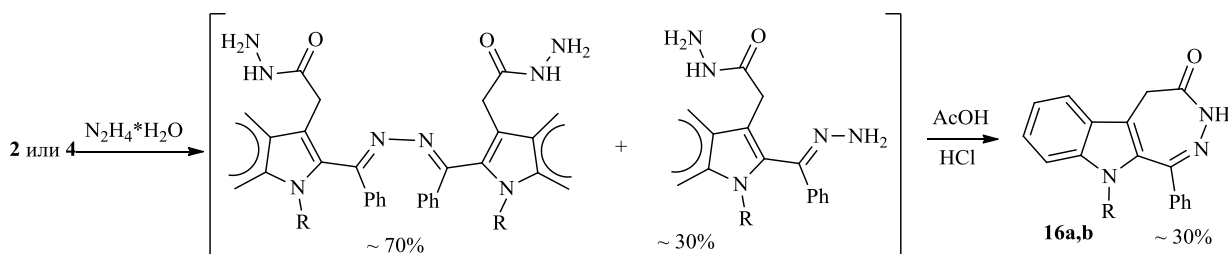
При кипячении соединения **9** в гидразингидрате с количественным выходом образуется (1*H*-индол-1,3-диил)диацетогидразид **13**, который в кислой среде даёт смесь [1,2]дiazепина **14** и [1,2,5]триазепиноа **15**. Производное индола **13** и триазепинон **15** нами не выделялись. Получить diaзепинон с аннелированным семичленным циклом по грани *b* индола из кетозфира **2** нагреванием при 165°C с ацетатом гидразина нам не удалось. Был выделен исходный индол **2**.

Схема 3



При 4 ч кипячении кетоэфиров **2** или **4** с избытком гидразингидрата в метаноле были выделены исходные соединения, а 0.5 ч кипячение этих кетоэфиров в гидразингидрате дало смесь гидразидазина и гидразидгидразона в соотношении  $\sim 7/3$ . Дальнейшее непродолжительное кипячение этой смеси в AcOH в присутствии эквимольного количества HCl даёт [1,2]дiazепино-он **16a** или **16b** с выходом  $\sim 30\%$  в пересчёте на исходные соединения **2** или **4** (схема 4).

Схема 4



При кипячении кетоэфира **2** с избытком ацетата гидразина в AcOH в присутствии каталитических количеств TsOH в течение 12 ч с выходом 10% был получен *N*-(3-оксо-1-фенил-3,9-дигидро-2*H*- $\beta$ -карболин-2-ил)ацетамид. Diazепинон **16a** при кипячении в AcOH с каталитическими количествами TsOH в течение 6 ч также превращается на 32% в *N*-(3-оксо-1-фенил-3,9-дигидро-2*H*- $\beta$ -карболин-2-ил)ацетамид. Длительное воздействие сильных кислот на кетоэфир **2** приводит к тому же результату.

## ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ КРОВИ: НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА МОДЕЛИРОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКУ ПАТОЛОГИИ

*Хомутов Е.В.*, канд. хим. наук,

*Потапов В.В.*, канд. мед. наук, *Дмитриев Л.С.*

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный медицинский университет

имени М. Горького», г. Донецк, РФ

*khomutov.eugene@gmail.com*

**Введение.** Методы динамической межфазной тензиометрии и реологии успешно используются для исследования крови и других биологических жидкостей с целью оценки их тензиометрических свойств в специфике применения для диагностики и мониторинга различных патологических состояний [1–3].

Исследование поверхностно-активных свойств компонентов плазмы и сыворотки крови проводили двумя основными методами. Первый предусматривает использование модельных систем, включающих ультрачистые белки и низкомолекулярные поверхностно-активные вещества (ПАВ) крови [4,5]. Этот метод имеет свои ограничения, так как он ориентирован на использование всего 3-4 компонентов для модельных систем, что не учитывает реальную сложность многокомпонентного состава крови. Во втором основной упор делается на анализ изменений тензиометрических и реологических характеристик биологических жидкостей при различных патологиях [6].

**Цель** работы – разработать модель для получения данных о физических характеристиках компонентов крови.

**Основная часть.** Мы исследовали 30 человек, разделенных на две группы. Группа 1 включала 15 пациентов, страдающих ишемической болезнью сердца в возрастном диапазоне от 51 до 76 лет (средний возраст  $62 \pm 1,0$  года). Этой группе пациентов выполняли операции по реваскуляризации миокарда, включая аортокоронарное или аорто-маммарокоронарное шунтирование с использованием от 2 до 4 шунтов. Основным патологическим синдромом, характеризующим эту группу, была хроническая сердечная недостаточность (III класс по NYHA).

Группу 2 составляли 15 добровольцев без хронических заболеваний и активных жалоб в возрасте от 50 до 75 лет (средний возраст  $61 \pm 1,0$  год). Возраст добровольцев контрольной группы не имел статистически значимых различий по сравнению с возрастом пациентов в исследуемых группах.

Метод измерения динамического поверхностного натяжения (ДПН) осуществлялся в модификации висячей капли [7]. Для проведения этого

метода мы использовали аппаратно-программный комплекс РАТ-1 (Sinterface Technologies, Германия).

Изменение ДПН было изучено на двух типах образцов: нативных и депротеинизированных для каждой из групп. Для депротеинизации использовали 10 % трихлоруксусную кислоту (ТХУ) в соотношении 1:2 с образцом, что позволило удалить до 98 % белков.

На первом этапе исследования были измерены значения поверхностного натяжения (ПН) нативной сыворотки и плазмы в обеих группах. Средние значения ПН нативной сыворотки в группе 1 были снижены по сравнению с здоровыми добровольцами, что указывает на накопление поверхностно-активных веществ.

Также исследованы изотермы адсорбции для депротеинизированных образцов сыворотки и плазмы. Различия в ПН обнаружены на протяжении всего времени экспозиции. Значения ПН для группы 1 были выше как для сыворотки, так и для плазмы по сравнению с группой 2.

Таблица 1

Средние значения  $C_{НМС}$

	Нативная		После осаждения белков	
	Плазма	Сыворотка	Плазма	Сыворотка
Группа 1 (пациенты ХСН)	26,5±7,4	61,2±17,9	15,2±4,1	34,1±21,1
Группа 2 (здоровые)	50,1±5,9	52,5±7,4	42,1±17,7	86,6±5,1

Учитывая закон Генри, можно оценить вклад системы гемостаза в значение среднего натяжения поверхности (СНМС) как разницу между СНМС нативной сыворотки и СНМС нативной плазмы. Для группы 2 не было различий между этими значениями, в то время как в группе 1 они отличались в два раза. Эти результаты согласуются с тем, что в сыворотке отсутствует растворимый высокомолекулярный белок фибриноген, но присутствуют низкомолекулярные продукты его разложения.

Замечено, что после осаждения белков значения СНМС для плазмы и сыворотки в группе 2 различались в 2 раза. Сравнив значения СНМС между 1-й и 2-й группами после осаждения белков, было выявлено статистически значимое различие: для 1-й группы значения были в среднем в 2,5 раза ниже. Это соответствует данным об увеличении уровня продуктов разложения фибриногена и других показателей гемостаза в плазме у пациентов с ХСН. Относительно эффективной (наблюдаемой) константы Генри, во всех группах не было выявлено статистически значимых различий (таблица 2).

Таблица 2

Средние значения константы Генри для  $C_{НМС}$  после осаждения белков ТХУ

	Плазма	Сыворотка
Группа 1	0,005±0,0016	0,0043±0,0009
Группа 2	0,004 ±0,0004	0,004±0,0006

**Заключение.** С учетом полученных данных следует, что тензиометрические показатели сыворотки крови различаются у здоровых добровольцев и пациентов с хронической сердечной недостаточностью. Одним из факторов влияния выступают системы свертывания крови. Разница в  $C_{НМС}$  между нативной сывороткой и плазмой составила 34,7 (плазма-26,5±7,4, сыворотка-61,2±17,9). Не смотря на различия, была продемонстрирована однородность состава низкомолекулярных фракций веществ во всех исследуемых группах, со средними значениями константы Генри равными 0,004.

### Список литературы

1. Динамическое поверхностное натяжение биологических жидкостей в медицине / В.Н. Казаков, О.В. Синяченко, В.Б. Файнерман и др. Донецк: Изд-во мед. ун-та, 1997. – 296 с.
2. Kazakov V, Vozianov A, Sinyachenko O, Trukhin D, Kovalchuk V, Pison U. Studies on the application of dynamic surface tensiometry of serum and cerebrospinal liquid for diagnostics and monitoring of treatment in patients who have rheumatic, neurological or oncological diseases. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2000;86(1-2):1-38.
3. Zaitsev S. Dynamic surface tension measurements as general approach to the analysis of animal blood plasma and serum. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2016;235:201-213.
4. Gálvez-Ruiz M. Different approaches to study protein films at air/water interface. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2017; 247:533-542.
5. Agassandian M, Mallampalli R. Surfactant phospholipid metabolism. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*. 2013;1831(3):612-625.
6. Fathi Azarbayjani A, Jouyban A. Surface tension in human pathophysiology and its application as a medical diagnostic tool. *BioImpacts*. 2017;5(1):29-44.
7. Möbius D, Miller R. *Proteins at liquid interfaces*. Amsterdam: Elsevier; 1998.

## ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ СОЛЕЙ ЭТОКСИАМИНОГУМИНОВЫХ КИСЛОТ НА ГРАНИЦЕ С ВОЗДУХОМ

*Шелест В.С., Хилько С.Л.*, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.,  
*Макарова Р.А.*, канд. хим. наук, *Семенова Р.Г.*, канд. хим. наук.  
ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»,  
г. Донецк, РФ  
*valya.any@gmail.com*

**Введение.** Гуминовые кислоты (ГК) являются природными полимерами и представляют собой возобновляемые и экологически безопасные источники сырья для получения продуктов, которые могут иметь применение в различных областях промышленности как сорбенты, ПАВ, редокс-полимеры, а также в биологии и медицине как материалы с биологически активными свойствами [1, 2].

Применение механохимических методов для получения новых производных природных соединений позволяет проводить реакции модификации простым, экологически чистым и экономически выгодным способом [3-5].

Гуминовые кислоты являются уникальным материалом для проведения разнообразных механохимических реакций. В результате механохимической обработки происходит структурная перестройка макромолекул гуминовых кислот, обусловленная разрывом химических связей и изменением количества функциональных групп.

Методы тензиометрии и дилатационной реологии используют для исследования равновесных и динамических свойств простых и сложных межфазных слоев, состоящих из низкомолекулярных поверхностно-активных веществ, белков и полимеров, а также различных смесей ПАВ, ПАВ + полимер, белок + ПАВ и др. [6].

**Целью работы** было исследование тензиометрических и дилатационных реологических свойств растворов солей этоксиаминогуминовых кислот, полученных методом механохимического синтеза, на границе раздела с воздухом.

**Основная часть.** Механохимическую твердофазную реакцию гуминовых кислот одновременно с полиэтиленгликолем (ПЭГ-6000 или ПЭГ-1500), циангуанидином, мочевиной или гидроперитом проводили в вибрационном аппарате 75Т-ДрМ при частоте вибрации  $\nu = 50$  Гц и амплитуде  $A = 3.0 \div 5.0$  мм.

Динамическое и равновесное поверхностное натяжение водных растворов солей гуминовых кислот в зависимости от концентрации ПАВ

измеряли методом формы висячей капли, дилатационные реологические характеристики измеряли методом осциллирующей висячей капли, используя тензиометр PAT-2P (SINTERFACE Technologies, Germany). Ошибка измерений не превышала  $\pm 0.1$  мН/м.

Растворы натриевых солей ГК для измерения поверхностных свойств на границе раздела жидкость-газ получали в очищенной воде (Milli-Q), имеющей поверхностное натяжение  $72.0 \pm 0.2$  мН/м.

Как следует из приведенных на рисунках 1-3 данных, динамические и равновесные значения поверхностного натяжения у модифицированных образцов значительно ниже, чем у исходного гумата натрия ( $\text{ГН}_{\text{исх}}$ ).

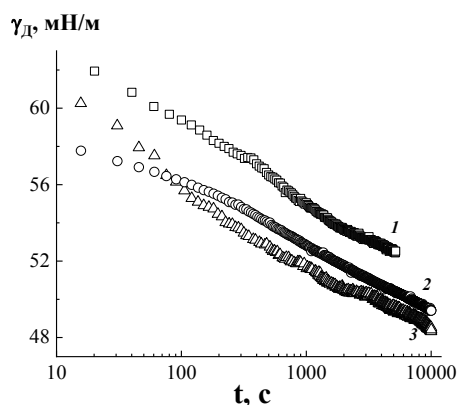


Рис. 1. Изменение динамического поверхностного натяжения растворов солей ГК от времени: 1 –  $\text{ГН}_{\text{исх}}$ ; 2 –  $\text{ГН}_{\text{ГК}}$  + ПЭГ-6000 + гидроперит; 3 –  $\text{ГН}_{\text{ГК}}$  + гидроперит.

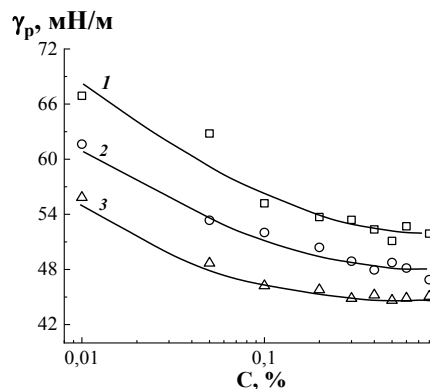


Рис. 2. Изменение равновесного поверхностного натяжения растворов солей ГК от концентрации: 1 –  $\text{ГН}_{\text{исх}}$ ; 2 –  $\text{ГН}_{\text{ГК}}$  + ПЭГ-6000 + гидроперит; 3 –  $\text{ГН}_{\text{ГК}}$  + гидроперит.

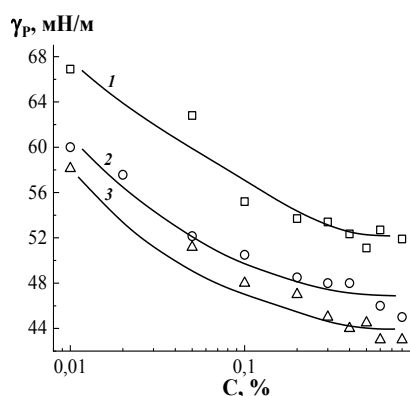


Рис. 3. Изменение равновесного поверхностного натяжения растворов солей ГК от концентрации: 1 –  $\text{ГН}_{\text{исх}}$ ; 2 –  $\text{ГН}_{\text{ГК}}$ +ПЭГ-6000+мочевина; 3 –  $\text{ГН}_{\text{ГК}}$ +ПЭГ-6000+циангуанидин.

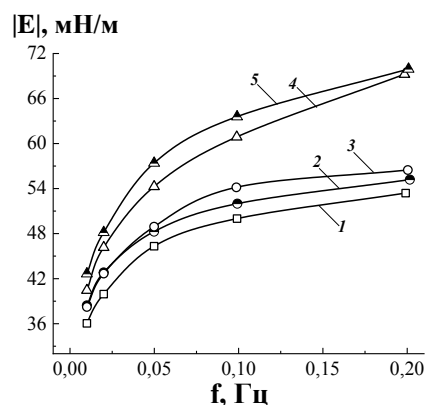


Рис. 4. Изменение величины модуля вязкоупругости от частоты осцилляции площади поверхности капли: 1 –  $\text{ГН}_{\text{исх}}$ ; 2 –  $\text{ГН}_{\text{ГК}}$ +ПЭГ-1500+мочевина; 3 –  $\text{ГН}_{\text{ГК}}$ +ПЭГ-1500+циангуанидин; 4 –  $\text{ГН}_{\text{ГК}}$ +ПЭГ-6000+циангуанидин; 5 –  $\text{ГН}_{\text{ГК}}$ +ПЭГ-6000+мочевина.  $C_{\text{ПАВ}} = 0.1\%$ .



Исследование дилатационных реологических характеристик поверхности раздела фаз позволяет получать более точную информацию о процессах формирования и структуре адсорбционных слоев высокомолекулярных полиэлектролитов.

Известно, что связь между возмущением поверхности (осцилляция капли) и изменением поверхностного натяжения ( $\gamma$ ) в ответ на это возмущение выражается через дилатационный модуль (модуль вязкоупругости,  $|E|$ ).

Согласно приведенным на рисунке 4 данным, величины  $|E|$  возрастают при увеличении частоты осцилляции капли. Значения  $|E|$  для образцов этоксиаминогуминовых кислот, полученные с использованием ПЭГ-6000, значительно выше, чем для образцов, полученных с использованием ПЭГ-1500. Очевидно, это связано с введением более длинных цепей этоксилированных фрагментов при реакциях их получения.

**Заключение.** В работе показано, что растворы натриевых солей этоксиаминогуминовых кислот обладают более выраженными поверхностно-активными свойствами на границе раздела с воздухом по сравнению с исходным образцом гумата натрия и двухфункциональными гуматами натрия. При одновременном включении этоксильных и аминогрупп в структуру макромолекул ГК возможно получение новых систем, которые сочетают функции анионных, катионных и неионогенных ПАВ за счет имеющихся карбоксильных и гидроксильных групп, а также введенных этокси- и аминогрупп. Такие ПАВ могут найти применение в качестве регуляторов физико-химических свойств суспензий, эмульсий и пен при различных условиях их применения.

#### Список литературы

1. Piccolo, A. The Supramolecular Structure of Humic Substances / A. Piccolo // Soil Sci. – 2001. – V. 166, № 11. – P. 810–832. – DOI: 10.1097/00010694-200111000-00007.
2. Попов, А. И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / Под ред. Ермакова Е.И. // СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. – 248 с. – ISBN 5-288-03516-4.
3. Pagola, S. Outstanding Advantages, Current Drawbacks, and Significant Recent Developments in Mechanochemistry: A Perspective View (Review) / S. Pagola // Crystals. – 2023. – V. 13. – P. 124-157. – DOI: 10.3390/cryst13010124.
4. Механохимический синтез органических соединений и композитов с их участием / Н. З. Ляхов, Т. Ф. Григорьева, А. П. Барина [и др.] // Успехи химии. – 2010. – Т. 79, № 3. – С. 218-233. – DOI: 10.1070/RC2010v079n03ABEH004115.
5. Sustainable Mechanochemistry of Biologically Active Molecules / O. O. Bento, F. Luttringer, T. Mohy [и др.] // Eur. J. Org. Chem. 2022, e202101516. Review. – DOI: 10.1002/ejoc.202101516.
6. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. Пер. с англ. / К. Холмберг, Б. Йёнссон, Б. Кронберг [и др.] // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 526 с. – ISBN 978-5-94-774-363-0.

# *Неорганическая химия*

УДК 546.786:544.342

## **СИНТЕЗ И ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗОПОЛИМОЛИБДАТОВ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРЕТЬЕЙ ГРУППЫ**

*Белюсова Е.Е.*<sup>1</sup>, канд. хим. наук, доц.,

*Хомутова Е.В.*<sup>2</sup>, канд. биол. наук,

*Яблочкова Н.В.*<sup>1</sup>, канд. хим. наук, доц.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

<sup>2</sup>ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»,  
г. Донецк, РФ

*k.bilousova@donnu.ru*

**Введение.** Современная наука и техника ставит перед исследователями задачи по созданию материалов, обладающих новыми свойствами или совмещающих в себе ряд практически важных характеристик. Большой интерес вызывают кислородсодержащие соединения молибдена, которые из-за особенностей их кристаллической структуры применяются в качестве активаторов и кристаллических матриц оптических квантовых генераторов, сцинтилляционных счетчиков, основ лазерных кристаллов и катализаторов.

**Цель** исследования заключается в поиске новых соединений, содержащих ионы молибдена (VI), а также выявление условий образования и свойств их в поликристаллическом состоянии.

**Основная часть.** Одним из таких путей является получение соединений методом осаждения из водных растворов, обеспечивающих однородность продукта, высокую дисперсность, а потому и активную поверхность, что так необходимо в технологии. Этот метод является единственным в получении изополимолибдатов, содержащих в составе полиоксоионы, образующиеся в подкисленных растворах молибдат-аниона  $\text{MoO}_4^{2-}$ .

Природа среды оказывает существенное влияние на процессы образования полиоксометаллатов. Реакции в водно-органических растворах для получения полиядерных комплексов нашли широкое применение совсем недавно. Довольно широко в качестве хорошо смешивающегося с водой органического растворителя применяют диметилформамид (ДМФА) –  $(\text{CH}_3)_2\text{NCHO}$ , который частично подавляет гидролиз катиона, образуя устойчивый формы реагирующих и образующихся ионов в реакционной среде. При этом образуются новые полиоксоионы, которые легко связываются с внешней средой в виде кристаллических форм. Особенно важным для практического

использования является проведение термоаналитических исследований, позволяющих определить устойчивость изополимолибдатов при нагревании, а в некоторых случаях возможно образование при этом других форм соединений, обладающих новыми свойствами.

Известно, что в зависимости от концентрации, кислотности и природы среды, температуры, продолжительности процессов поликонденсации в растворах возможно образование из  $\text{MoO}_4^{2-}$  анионов  $\text{Mo}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{Mo}_4\text{O}_{14}^{4-}$ ,  $\text{Mo}_6\text{O}_{21}^{6-}$ ,  $\text{Mo}_7\text{O}_{24}^{6-}$ ,  $\text{Mo}_4\text{O}_{13}^{2-}$ ,  $\text{Mo}_8\text{O}_{26}^{4-}$  [1, 2]. В результате ранее проведенных нами исследований состояния изополимолибдат-анионов (ИПМА) в водно-диметилформаидных растворах [2] установлены зоны доминирования ИПМА, а также обнаружено, что на осаждение изополимолибдатов влияют также соотношение исходных компонентов и природа катиона. Установлено стабилизирующее воздействие диметилформаида (ДМФА) на анионы  $\text{Mo}_6\text{O}_{21}^{6-}$ ,  $\text{Mo}_4\text{O}_{13}^{2-}$ ,  $\text{Mo}_8\text{O}_{26}^{4-}$ , которые выделить из водных растворов в виде кристаллических солей весьма затруднительно. В данном сообщении показано влияние природы катиона на образование изополимолибдатов из водно-органических растворов в условиях синтеза, аналогичным в работе [3]. Особенностью данного исследования является использование катионов иттрия и гольмия (III). На базе данных о влиянии кислотности (Z) среды на стабилизацию изополимолибдат-анионов в водно-ДМФА растворах были выбраны реакции поликонденсации, положенные в основу синтеза изополимолибдатов иттрия и гольмия

На основании данных химического, термогравиметрического, рентгенофазового, ИК – спектроскопического методов анализа и РСМА идентифицированы синтезированные соединения изополимолибдатов гольмия и иттрия, а также предложены их формулы. Установлено стабилизирующее воздействие ДМФА на гекса- и октамолибдат-анионы, которые из водных растворов не осаждаются в виде твердых фаз

Для гольмия при  $Z = 1,14; 1,17$  и  $1,29$  (первая фракция) образуется гидроксогексамолибдат состава  $(\text{HoOH})_3\text{Mo}_6\text{O}_{21} \cdot 2\text{C}_3\text{H}_7\text{NO} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . При  $Z = 1,29$  (вторая фракция) образовался кристаллический гидрато-сольват гидроксотетрамолибдата гольмия -  $(\text{HoOH})_2\text{Mo}_4\text{O}_{14} \cdot \text{C}_3\text{H}_7\text{NO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . При  $Z = 1,50$  и  $1,67$  получен гидрато-сольват протонированный октамолибдат гольмия –  $\text{HoHM}_8\text{O}_{26} \cdot 5\text{C}_3\text{H}_7\text{NO} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . При  $Z = 1,14$  (фаза 2) образуется гидрато-сольват гексамолибдата гольмия –  $\text{Ho}_2\text{Mo}_6\text{O}_{21} \cdot \text{C}_3\text{H}_7\text{NO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Аналогичные составы изомолибдатов для гадолиния были получены ранее [3], что обусловлено близостью ионного радиуса катионов одного семейства f-элементов  $\text{Ho}^{3+}$  и  $\text{Gd}^{3+}$ .

В системах с иттрием, который принадлежит к семейству d-элементов и имеет меньший ионный радиус, наблюдается по данным химического анализа образование только двух фаз: гидроксогексамолибдата иттрия при кислотностях  $1,14$ ,  $1,17$  и  $1,29$ ; а при кислотности  $1,67$  –

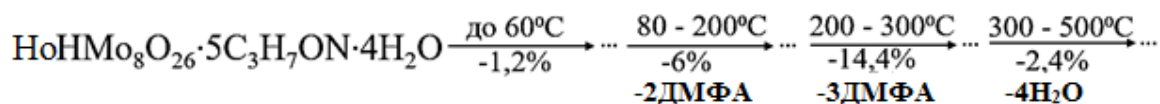
протонированного октамолибдата иттрия:  $(\text{YOH})_3\text{Mo}_6\text{O}_{21}\cdot 3\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{YHMo}_8\text{O}_{26}\cdot 5\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . По данным рентгенофазового анализа все соли имеют кристаллическую структуру, а соединения с одинаковым изополимолибдат-анионом – изоструктурны.

Согласно результатам термогравиметрического анализа для соли протонированного октамолибдата гольмия  $\text{HoHMo}_8\text{O}_{26}\cdot 5\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  можно наблюдать удаление в несколько этапов воды и ДМФА. Кривые дифференциального термического анализа также подтверждает потерю массы образца в результате удаления нескольких типов воды и ДМФА: адсорбционной воды (до  $60^\circ\text{C}$  - 1,2%), кристаллогидратной в виде молекул воды или молекул ДМФА ( $200 - 300^\circ\text{C}$ ) и структурной воды в виде OH-групп, входящих в состав аниона ( $300 - 500^\circ\text{C}$ ).

После удаления кристаллогидратной структуры воды происходит разрушение аниона и разложение соединения на средний молибдат катиона ( $\text{Ho}^{3+}$ ) и оксид молибдена  $\text{MoO}_3$ . Разложение соединения наблюдается уже на третьей стадии, когда только начинается процесс удаления структурной воды после полной десольватации ДМФА. Завершается этот процесс на последней стадии с одновременным удалением четырех молекул воды.

Аналогично ведет себя при нагревании протонированный октамолибдат иттрия, разложение которого наблюдается в интервале температур ( $250 - 300^\circ\text{C}$ ).

**Таким образом** можно предложить схему термолиза протонированного октамолибдата гольмия:



*Публикация выполнена в рамках госзадания (FRRE-2023-0014).*

## Список литературы

1. Wang X. L. Various polyoxomolybdate-based hybrids induced by pH and solvents: structures, adsorption activities for dyes and bifunctional electrocatalytic properties // X. L. Wang, S. Zhang, X. Wang, G. C. Liu, H. Y. Lin, H. X. Zhang, // Dalton Trans. – 2017. – Vol. 46. – P. 16580–16588. – DOI:10.1039/C7DT03618C.
2. Белоусова Е.Е. Особенности синтеза изополимолибдатов из водно-диметилформамидных растворов / Е.Е. Белоусова, Е.Ю. Пойманова, Е.В. Хомутова, В.В. Кравченко, К.А. Чебышев // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. – 2020. – Т. 1. – С. 54–61.
3. Белоусова Е.Е. Изополимолибдаты гадолиния. Синтез из водно-диметилформамидных растворов и идентификация солей / Белоусова Е.Е., Пойманова Е.Ю., Хомутова Е.В., Кравченко В.В., Чебышев К.А. // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2021. – № 1. – С. 27–37.

## ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ В СИСТЕМЕ $\text{Pr}_6\text{O}_{11} - x\text{MoO}_3$

*Бережная Т.С.*<sup>1,2</sup>, *Чебышев К.А.*<sup>1,3</sup>, канд. хим. наук, доц.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,  
г. Ставрополь, РФ

<sup>2</sup>ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт  
им. А.А. Галкина», г. Донецк, РФ

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*Chebyshev.konst@mail.ru*

**Введение.** Получение функциональных материалов различного направления представляет собой комплексную задачу, поскольку необходимо не только соблюдение точного состава, но и обеспечение заданной морфологии частиц. Золь-гель синтез в виде метода Печини позволяет удержать в растворе такие компоненты, которые имеют существенно различающиеся кислотно-основные свойства и получить прекурсоры материалов с распределенными на атомном уровне элементами.

Оксид празеодима является перспективным материалом для компонентов различных электрохимических устройств, где он используется в виде компонента композита или импрегнированной добавки к материалам. Однако, при использовании твердых растворов на основе оксида празеодима, модифицированного элементами, проявляющими преимущественно кислотные свойства, требует применения элементов золь-гель методов. Наиболее распространенным вариантом является цитратный метод (метод Печини), который отличается простотой и воспроизводимостью.

**Методы и материалы.** Синтез образцов системы  $\text{Pr}_6\text{O}_{11} - x\text{MoO}_3$  проводили из оксидов металлов с содержанием основного вещества не менее 99,9 %. Оксид молибдена растворяли в холодном концентрированном растворе аммиака, а оксид празеодима – в небольшом избытке азотной кислоты. К растворам добавлялась лимонная кислота, они сливались вместе, перемешивались и полученный раствор компонентов выдерживался при 70 °С для получения прозрачного вязкого геля. Гель высушивался и разлагался в муфельной печи при 500 °С. После разложения рентгеноаморфный сухой остаток гомогенизировали и прокаливали при 700, 800 и 1000 °С. Полученные образцы исследовали методами рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным рентгеновским микроанализом.

**Результаты и обсуждение.** После прокаливания при 700 °С сухих остатков разложения ксерогелей на дифрактограммах образцов в диапазоне  $x = 0 - 2$  присутствуют очень уширенные рефлексы флюорита, причем наблюдается их смещение в сторону меньших углов при увеличении значения  $x$ . При большем содержании оксида молибдена в системе обнаруживаются отражения, относящиеся к тетрагональной фазе  $\text{Pr}_2\text{MoO}_6$  и кубической  $\text{Pr}_5\text{Mo}_3\text{O}_{16+\delta}$ .

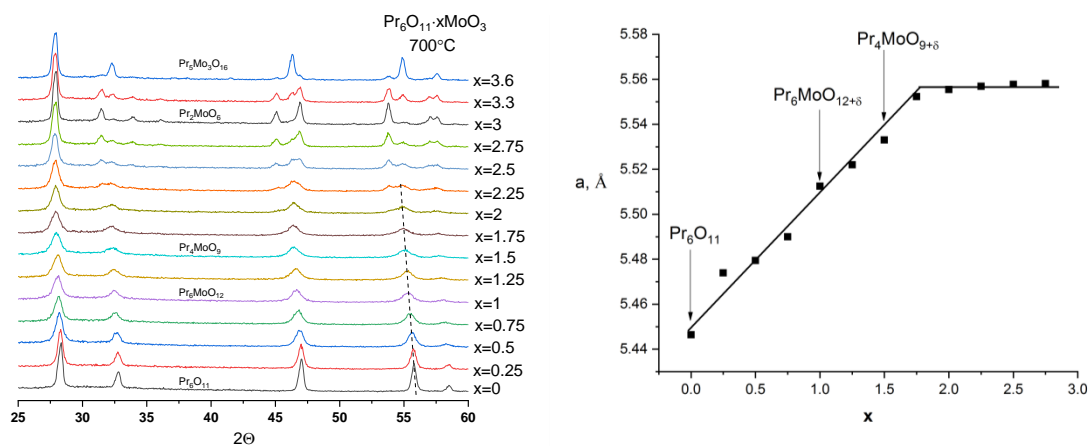


Рис. 1. Дифрактограммы образцов после прокаливания при 700 °С (слева) и зависимость параметра элементарной ячейки флюорита от состава системы (справа).

Линейное увеличение параметра элементарной ячейки составов  $x = 0 - 2$  свидетельствует об образовании твердых растворов на основе оксида празеодима в указанном диапазоне. Согласно результатам сканирующей электронной микроскопии средний размер зерен составляет около 20 нм.

Увеличение температуры прокаливания приводит к некоторому увеличению интенсивности рефлексов ввиду увеличения кристалличности образцов. После прокаливания при 1000 °С в диапазоне составов  $1,5 \leq x \leq 2,25$  наблюдаются рефлексы фазы  $\text{Pr}_4\text{MoO}_{9+\delta}$ . Значительное уширение рефлексов свидетельствует о наноразмерном состоянии молибдатов празеодима, что подтверждается сканирующей электронной микроскопией. Размер зерен после прокаливания при 1000 °С составил около 100 нм. Ранее сообщалось о получении соединения такого состава твердофазным методом из оксидов металлов при 1100 °С [1]. Применение золь-гель метода позволило снизить температуру синтеза  $\text{Pr}_4\text{MoO}_{9+\delta}$  на 100°С.

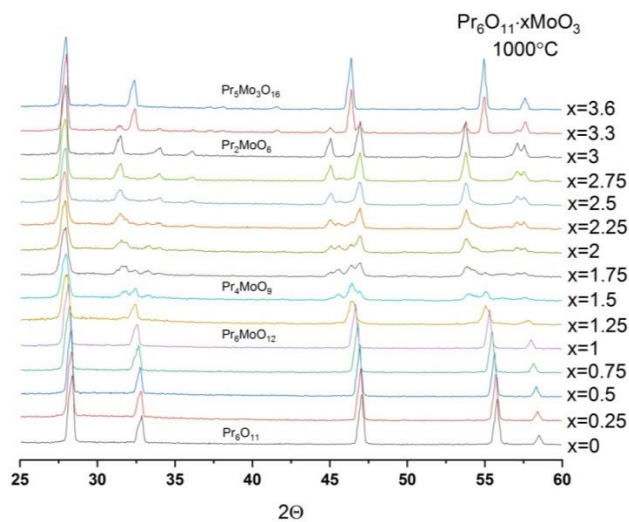


Рис. 2. Зависимость параметра элементарной ячейки флюорита от состава системы.

*Исследование проводилось по теме государственного задания (№ госрегистрации 1023031100001-4-1.4.2).*

### Список литературы

1. Chebyshev, K. Solid State Synthesis and Investigation of Double Oxides in  $x/6\text{Pr}_6\text{O}_{11} - \text{MoO}_3$  ( $2 \leq x \leq 6$ ) Series / K. Chebyshev, N. Selikova, L. Pasechnik, V. Turchenko // Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4500342>. DOI: [10.2139/ssrn.4500342](https://doi.org/10.2139/ssrn.4500342)

## НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ГОРЕНИЕ В СИСТЕМАХ $\text{MeSO}_4 - \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 - \text{NaO}_2$ КАК МЕТОД СИНТЕЗА СУПЕРПАРАМАГНЕТИКОВ

*Берестовая А.А., Ганнова Ю.Н.*, канд. хим. наук, доц.  
ФГБНУ «Научно-исследовательский институт «Реактивэлектрон», г. Донецк, РФ  
*berestova865@mail.ru*

Интерес к новым магнитным материалам и способам их получения обусловлен, прежде всего, перспективами их практического применения. Они могут использоваться для записи информации со сверхвысокой плотностью, для решения некоторых медицинских задач, для катализа, для создания сверхмощных магнитов, различных сенсоров и т.д. Магнитные свойства определяются многими факторами, среди которых следует выделить химический состав, тип кристаллической решетки и степень ее дефектности, размер и форму частиц, морфологию (для структурно неоднородных частиц). Особый интерес представляет синтез малоразмерных частиц магнитного материала. Если размер частиц материала уменьшается до некоторой предельной величины, то в области температур выше температуры блокировки и ниже температуры Кюри частицы магнитоупорядоченного вещества приобретают свойства “суперпарамагнетика”. Особенность суперпарамагнетика состоит в том, что парамагнитными центрами в нем являются не отдельные атомы (ионы), а ферромагнитные однодоменные частицы, которые могут содержать до  $10^5$  атомов, связанных между собой обменными взаимодействиями. Поэтому как магнитные моменты, так и достигаемые значения магнитной восприимчивости для суперпарамагнетика весьма велики. Суперпарамагнетизм - квазипарамагнитное состояние вещества, включающее в себя наночастицы магнитоупорядоченных магнетиков, слабо взаимодействующих между собой.

Для получения магнитных материалов значительный интерес могут представлять твердофазные системы, содержащие соли неорганических кислот и пероксидные соединения щелочных металлов, в которых, после инициирования тепловым источником, развивается фронт горения (самораспространяющегося взаимодействия – СРВ). Вследствие относительно невысоких температур во фронте горения, эти процессы можно отнести к низкотемпературному горению.

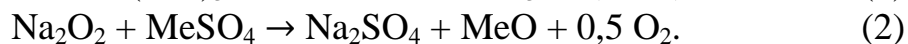
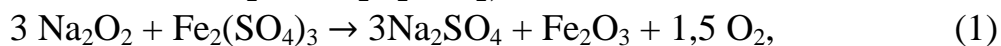
Самораспространяющееся взаимодействие представляет собой твердофазный экзотермический химический процесс, который начинается после инициирования образца кратковременным точечным высокотемпературным импульсом, и далее распространяется по объему образца.

Цель и задачи исследования состояли в установлении механизма, выявлении основных закономерностей взаимодействия в тройных пероксидно-солевых системах и получения данных для разработки моделей процессов самораспространяющегося взаимодействия.

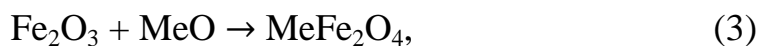
Объектом исследования были выбраны тройные системы, содержащие пероксидные и супероксидные соединения натрия и соли, а именно  $\text{NaO}_2\text{-ZnSO}_4\text{-Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{NaO}_2\text{-NiSO}_4\text{-Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{NaO}_2\text{-CoSO}_4\text{-Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .

Методы исследования: для исследования твердофазных реакций использованы методы рентгенофазового, термического и химического анализа, ИК-спектроскопия, электронная микроскопия и определения удельной намагниченности насыщения.

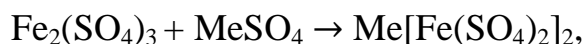
Данные дифференциально-термического анализа, определения скорости и температуры горения, рентгенофазового анализа, ИК-спектроскопии, а также термодинамические расчеты показывают, что в волне горения развивается температура около  $800\text{ }^\circ\text{C}$  и основные процессы в целом не противоречат схеме [2]:



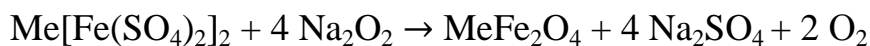
Тогда образование феррита будет протекать по известной классической схеме:



Образование ферритов по уравнению (3) протекает при достаточно высоких температурах. Обычно в технологии спекание оксидов с получением ферритов проводят при длительном нагреве при температуре  $1100\text{-}1400\text{ }^\circ\text{C}$ . Такой уровень температур во фронте самораспространяющегося взаимодействия (горения) достигается вследствие теплопотери кратковременно. Образцы оксидов  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{MeO}$ , полученные по реакциям (1) и (2) также образуют феррит в этой области температур при длительной выдержке. Более эффективное образование ферритов во фронте горения свидетельствует о том, что в момент образования оксиды либо более активны, чем оксиды с сформировавшейся кристаллической структурой, либо существует стадия облегчающая процесс ферритизации, например:



а затем суммарно:





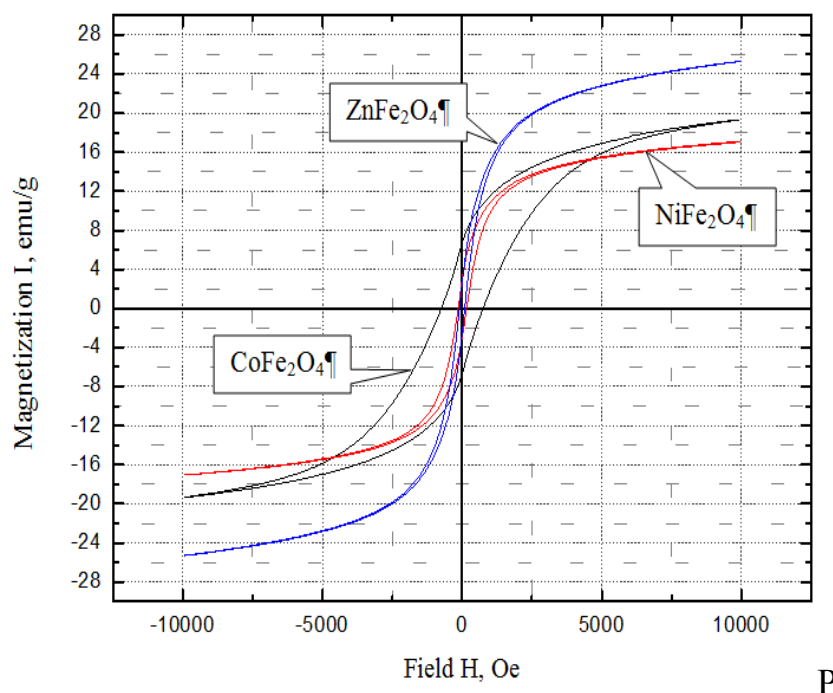


Рис. Петли гистерезиса суперпарамагнетиков полученных методом самораспространяющегося взаимодействия

Данные электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа частиц показал, что основными их компонентами является наноразмерная фаза  $\text{MeFe}_2\text{O}_4$ .

Таким образом, порошки всех образцов являются наноразмерными и проявляют сильную намагниченность (рисунок), что позволяет отнести их к суперпарамагнетикам, а сам процесс их получения к достаточно эффективным. Их применение перспективно для использования при разработке магнитных жидкостей, в медицине в качестве магнитных меток, в качестве специальных покрытий

### Список литературы

1. В.В. Шаповалов, А.А. Берестовая Низкотемпературное горение в пероксидно-солевых системах / В.В. Шаповалов, А.А. Берестовая // Научный вестник НИИГД Респиратор - №1. – 2019. – С. 110–118.
2. Берестовая А. А. Самораспространяющееся взаимодействие в системе  $\text{CoSO}_4 - \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 - \text{NaO}_2$  / А. А. Берестовая, В. В. Шаповалов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер.: Хімія і хімічна технологія. – 2014. – Вип. 1. – С. 71–81.

## ВЛИЯНИЕ $6s^2$ -ЭЛЕКТРОННЫХ ПАР НА ЗАМЕЩЕНИЕ СВИНЦА ЛАНТАНОМ В СТРУКТУРЕ СИЛИКАТО-ВАНАДАТА СВИНЦА

*Игнатов А.В.*, канд. хим. наук, доц.,

*Яблочкова Н.В.*, канд. хим. наук, доц.

*Жегайло А.О., Голубович В.С.*

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*a.ignatov@donnu.ru*

**Введение.** Силикато-ванадат свинца  $Pb_{10}(SiO_4)_2(VO_4)_4$  – представитель семейства апатитов. Разнообразие составов и свойств соединений семейства апатитов, которое связано со склонностью кристаллической структуры апатита к замещению своих структурных единиц, как правило, сопровождающееся изменением кристаллографических и физико-химических свойств, обуславливает широкий интерес к исследованию данной группы веществ. Последнее находит отражение в практическом внедрении материалов на их основе в различных областях науки и техники.

Среди представителей семейства апатитов особое внимание заслуживают соединения с лакунарной структурой, которую способны образовывать только катионы, электронная конфигурация которых характеризуется наличием  $6s^2$  – электронной пары ( $Tl^+$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Bi^{3+}$ ). Среди указанных катионов только свинец способен образовывать индивидуальные соединения со структурой апатита, в которых, в зависимости от заселяемой позиции ионами  $Pb^{2+}$ ,  $6s^2$  – электронная пара может быть либо стереохимически активной, либо нет. Такие  $6s^2$  – электронные пары определяют устойчивость структуры апатита, могут оказывать существенное влияние на изоморфную емкость соединений и, наряду с размерным фактором и степенью ионности связи, определять ширину области однофазности при протекании замещений одних структурных единиц другими.

**Целью** данной работы является изучение замещения свинца лантаном по схеме  $2Pb^{2+} + V_z \rightarrow 2La^{3+} + O^{2-}$  (где,  $V_z$  – вакансия) в кристаллической структуре на основе силикато-ванадата свинца  $Pb_{10}(SiO_4)_2(VO_4)_4$ .

**Основная часть.** Методом пиролиза цитрат-геля при конечной температуре синтеза 850 °С были получены системы образцов, состав однофазных продуктов в которых должен соответствовать общим формулам:  $Pb_{10-x}La_x(SiO_4)_2(VO_4)_4O_{x/2}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ),  $Ca_2Pb_{8-x}La_x(SiO_4)_2(VO_4)_4O_{x/2}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ),  $Ca_3Pb_{7-x}La_x(SiO_4)_2(VO_4)_4O_{x/2}$  ( $0 \leq x \leq 1.2$ ) и  $Ca_4Pb_{6-x}La_x(SiO_4)_2(VO_4)_4O_{x/2}$  ( $0 \leq x \leq 2$ ). Исследование полученных образцов

проводилось методами рентгенофазового анализа, времяпролетной нейтронской дифракции, сканирующей электронной микроскопии, ИК-спектроскопии.

Согласно данным рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии в системе  $\text{Pb}_{10-x}\text{La}_x(\text{SiO}_4)_2(\text{VO}_4)_4\text{O}_{x/2}$  замещение свинца на лантан в структуре апатита не протекает, что обусловлено наличием у ионов  $\text{Pb}^{2+}$  стереохимически-активных  $6s^2$ - электронных пар. Последние препятствуют вхождению в каналы структуры апатита ионов  $\text{O}^{2-}$ , которые, согласно схеме замещения, необходимы для соблюдения баланса зарядов.

Замещение свинца кальцием по схеме  $\text{Pb}^{2+} \rightarrow \text{Ca}^{2+}$  в силикато-ванадате свинца  $\text{Pb}_{10}(\text{SiO}_4)_2(\text{VO}_4)_4$  приводит к уменьшению числа стереохимически-активных  $6s^2$ - электронных пар в структуре и позволяет разблокировать протекание замещения по схеме  $2\text{Pb}^{2+} + \text{V}_z \rightarrow 2\text{La}^{3+} + \text{O}^{2-}$ . В кристаллической решетке твердых растворов  $\text{Ca}_x\text{Pb}_{10-x}(\text{SiO}_4)_2(\text{VO}_4)_4$  ионы кальция заселяют кристаллографическое положение M(1) структуры апатита, а увеличение их содержания приводит к возрастанию степени замещения свинца лантаном по рассматриваемой схеме. Граничные области образования однофазных образцов в исследованных системах составляют  $x = 0.6$  ( $\text{Ca}_2\text{Pb}_{8-x}\text{La}_x(\text{SiO}_4)_2(\text{VO}_4)_4\text{O}_{x/2}$ ),  $x = 0.8$  ( $\text{Ca}_3\text{Pb}_{7-x}\text{La}_x(\text{SiO}_4)_2(\text{VO}_4)_4\text{O}_{x/2}$ ) и  $x = 1.5$  ( $\text{Ca}_4\text{Pb}_{6-x}\text{La}_x(\text{SiO}_4)_2(\text{VO}_4)_4\text{O}_{x/2}$ ). Протекание замещения подтверждается изменением параметров элементарной гексагональной ячейки фазы структуры апатита. С увеличением степени замещения величины параметра  $a$  ячейки во всех лантан-содержащих системах уменьшаются, что обусловлено меньшим ионным радиусом  $\text{La}^{3+}$  в сравнении с  $\text{Pb}^{2+}$ . Вместе с тем, значения параметра  $c$  ячейки с увеличением степени замещения возрастают вследствие вхождения анионов  $\text{O}^{2-}$  в каналы структуры апатита.

Исследование лантан-содержащих образцов методом инфракрасной спектроскопии показало, что в области волновых чисел  $400 - 1100 \text{ см}^{-1}$  на спектрах присутствуют только полосы, относящиеся к колебаниям связей  $\text{V} - \text{O}$  и  $\text{Si} - \text{O}$ . Кроме того, на спектрах образцов отсутствует характерная для гидроксильных групп, не входящих в состав воды, полоса в области  $3570 - 3590 \text{ см}^{-1}$ . Это свидетельствует о том, что замещение свинца на лантан протекает именно по схеме  $2\text{Pb}^{2+} + \text{V}_z \rightarrow 2\text{La}^{3+} + \text{O}^{2-}$ , а не по также возможной схеме замещения  $\text{Pb}^{2+} + \text{V}_z \rightarrow \text{La}^{3+} + \text{OH}^-$ .

**Заключение.** Таким образом, результаты данного исследования свидетельствуют о существенном влиянии  $6s^2$  – электронных пар на протекание замещения свинца на лантан в структуре силикато-ванадата свинца, а их уменьшение, посредством замещения свинца кальцием, приводит к расширению области образования однофазных лантан-содержащих твердых растворов.

*Исследование проведено в рамках выполнения госзадания (FRRE-2023-0014).*

## ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛЕЙ КРЕМНЕВОЛЬФРАМОВОЙ КИСЛОТЫ С НЕОРГАНИЧЕСКИМИ И ОРГАНИЧЕСКИМИ ОСНОВАНИЯМИ

*Лозинский Н.С.*, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,

*Мороз Я.А.*, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.

ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»

г. Донецк, РФ

*lozinsky58@mail.ru*

**Введение.** Инфракрасная спектроскопия является эффективным методом исследования химического взаимодействия, процессов интеркалирования, адсорбции и создания гибридных материалов [1–4]. Однако поиск необходимой информации в этих областях знаний трудоемок.

**Цель** данной работы – систематизация сведений об ИК-спектроскопии солей кремневольфрамовой кислоты с неорганическими и органическими основаниями.

**Основная часть.** Синтез солей  $\text{Rb}_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  (I),  $\text{Cs}_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  (II),  $[(\text{CH}_3)_4\text{N}]_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot \text{H}_2\text{O}$  (III),  $[(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{N}]_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (IV),  $[(\text{CH}_2)_6\text{N}_4]_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (V) проводили аналогично [5]. Инфракрасные спектры сняты в дисках KBr на спектрометре Bruker Vertex 70 (спектральное разрешение измерений  $0,4 \text{ см}^{-1}$ , пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений по шкале волновых чисел  $\pm 0,5$ ). Отнесение полос поглощения сделаны на основании анализа порядка 400 литературных источников, опубликованных за период с 1947 года по настоящее время. Результаты представлены в табл.

Формы ИК-спектров образцов в области валентных колебаний вольфрамокислородного каркаса практически идентичны (рис.), что свидетельствует об изосруктурности их анионов, принадлежности аниона к структуре  $\alpha$ -Кеггина [1–4] и о том, что исследованные образцы являются индивидуальными соединениями. Полосы поглощения в диапазонах,  $\text{см}^{-1}$ : 1012–1019, 971–981, 919–928, 877–884, 783–795 относятся к колебаниям  $\nu_{\text{as}}(\text{Si}-\text{O}_a)$ ,  $\nu_{\text{s}}(\text{W}=\text{O}_d)$ ,  $\nu_{\text{as}}(\text{W}=\text{O}_d)$ ,  $\nu_{\text{as}}(\text{W}-\text{O}_b-\text{W})$  и  $\nu_{\text{as}}(\text{W}-\text{O}_c-\text{W})$ , соответственно, а их экстремальные значения коррелирует с радиусами внешнесферных катионов ( $r_{\text{cat}}$ ).  $r_{\text{cat}}$   $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{N}(\text{CH}_3)_4^+$ ;  $\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_4^+$ ;  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4^+$ , нм: 0,116; 0,152; 0,166; 0,181; 0,216; 0,279 и 0,304, а максимумы полос поглощения для соединений I–V  $\nu_{\text{s}}(\text{W}=\text{O}_d)$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 990\*; 984\*; 981; 980; 973; 971 и 976, или  $\nu_{\text{as}}(\text{W}=\text{O}_d)$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 935\*; 930\*; 928; 925; 920; 919; 920, соответственно (\* – литературные данные). Из общей закономерности выпадает соединение V, по-видимому, из-за наложения на колебания аниона близко расположенных полос поглощения органической части образца (табл.).

## Полосы поглощения в ИК-спектрах образцов и их отнесение

Частоты колебаний, см <sup>-1</sup>					Отнесение
I	II	III	IV	V	
3436	3436	3483	3538	3421	$\nu(-OH), H_5O_2^+, H_3O^+$
		3031			$\delta_{as}(CH_3)$
				3014	$\nu(NH), \nu(CH_2)$
			2983		$\nu_{as}(CH_3), \nu_s(CH_2)$ в $-C_2H_5$
		2957			$\nu_{as}(CH_3), \nu_{as}(C-H)$ в $CH_3$
			2950		$\nu_{as}$ и $\nu_s(-CH_3), \nu_{as}(C-H)$ в $-CH_2$ и $-CH_3, \nu_{as}$ и $\nu_s(-CH_2)$
				2927	$\nu(-CH_2-CH_2-), \nu_{as}(CH_2), \nu_{as}(C-H)$ в $-CH_2$
		2924			$\nu_{as}(-CH_3), \nu_s(-CH_3)$
2921					$\nu_s(H_2O)$
		2492			$\delta(H_2O)$
		1746			$\nu(C-C)$
1621	1624	1620	1620	1620	$\nu(OH)$ и $\delta(OH)$ химически связанной воды, $\nu(W-OH)$
		1485	1483		$\rho(CH_2), \delta(CNC), \delta(CH_2); \nu_{as}(CH_3)$
			1460	1461	$\delta(-CH_2), \delta(-CH_2-), \delta_s(C-H)$ в $CH_2$
	1459				$\nu_{as}(C-O)$ в $CO_3^{2-}$
1452					$\nu_{as}(CO_3)$
		1451			$\delta_{as}(CH_3), \delta_{as}(C-H)$ в $CH_3$
			1440		$\delta(-CH_2-), \delta(C-N-H), \delta(N-C-H)$
		1422			$\delta CH, \delta(NH), \nu(C-N), \nu(C-H), \delta CH_3$
				1402	$\nu(C-C), \nu_{as}(C-N), \omega(CH_2), \nu_s(NCN)$
			1393		$\delta_{as}(CH_2), \nu(CN)$
			1368		$\omega(CH_2), \delta(CH_2)$
				1361	$\nu_s(CH_2)$
				1308	$\delta(CH_2), C-C-H$ в группе $CH_2, \nu(C-N)$
			1304		$\delta(CH_2)$ для $C_2H_5-$
		1285			$\sigma(C-H); \nu(C-N), \nu(C-C) + \tau(HCCN)$
				1234	$\omega(NH), \delta(CH), \rho(CH_2), \tau(CH_2), t(CH_2), \nu(C-N)$
				1213	$\delta(C-H) + \nu(C-N)$
			1184		$\nu(C-N), \delta_{as}(CH_3), \delta_{as}(CH_2)$
			1172		$\rho(CH_2), \nu[(C_2H_5)_4]$
	1111				$\nu_{as}(Si-O-Si)$
				1069	$\nu_{as}(Si-O-Si), \nu_{as}(Si-O_a)$
1019	1019	1015	1012	1016	$\nu_{as}(Si-O_a)$
981	980	973	971	976	$\nu_s(W=O_d)$ , а также $\nu(C-N), \delta(C-H)$ и $\delta(C-N)$ для <b>V</b>
		949			$\nu(C-N)$ в $-N^+(CH_3)_4$ из-за качания групп $-CH_3$
928	925	920	919	920	$\nu_{as}(W=O_d)$ , а также $\rho(CH_2)$ для <b>V</b>
878	877	884	883	883	$\nu_{as}(W-O_b-W)$
787	783	791	795	789	$\nu_{as}(W-O_c-W)$
				652	$\gamma(C-C), \nu(W-O-W)$
	620				$\delta_d(Si-O)$
541	538	536	532	529	$\delta(W-O_a-W), \delta(Si-O), \delta(O-Si-O)$
				499	$\delta(Si-O), \delta(O-Si-O)$
479	479	480	480	478	$\delta(Si-O), \delta(O-Si-O), \delta(W-O_c-W)$
		457			$\nu_3(N^+(CH_3)_4)$
419	419	423	422	423	$\delta(Si-O), \delta(W-O_b-W), \delta[(CH_3-N-CH_3)]$ для <b>III</b>

Примечания. 1) Колебания: валентные –  $\nu$ ; деформационные:  $\delta$  – ножничные,  $\delta_d$  – внеплоскостные,  $\omega$  – веерные,  $\tau$  – крутильные,  $\rho$  – маятниковые,  $\gamma$  – либрационные,  $t$  – крутильно-деформационные,  $\sigma$  – плоскостные;  $s$  – симметричные,  $as$  – асимметричные. 2)  $O_a$  – атом кислорода, связанный с атомом кремния;  $O_b$  – мостиковый атом кислорода между октаэдрами  $WO_6$  с общими углами,  $O_c$  – мостиковый атом кислорода между октаэдрами с общими ребрами,  $O_d$  – концевой атом кислорода, связанный с атомом вольфрама. 3)  $N(CH_3)_4^+$  и  $N(C_2H_5)_4^+$  – катионы тетраметил- и тетраэтиламмония, соответственно.

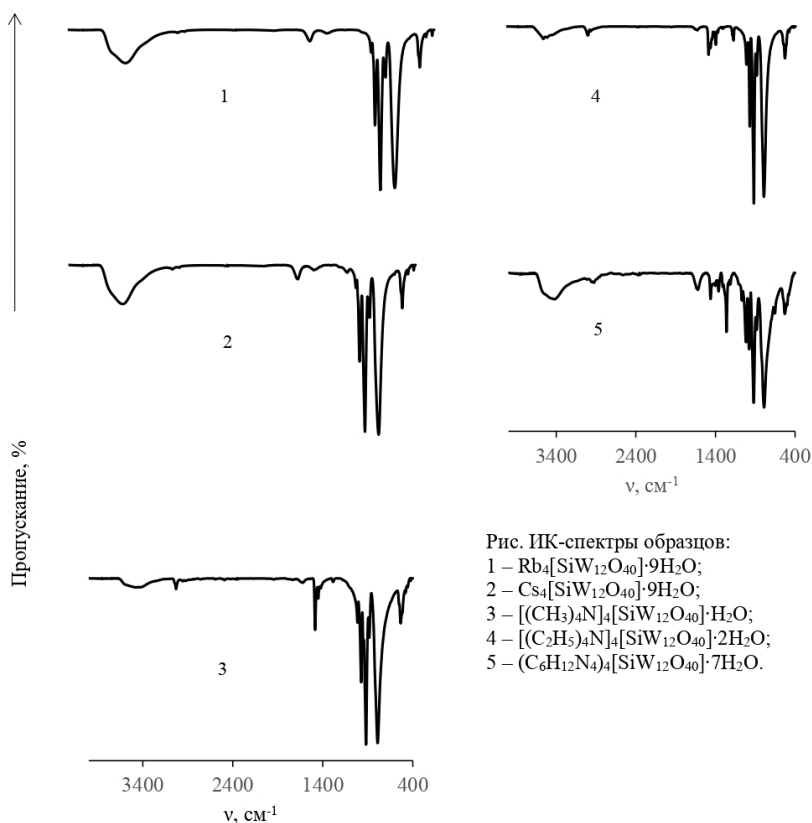


Рис. ИК-спектры образцов:  
 1 –  $\text{Rb}_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ;  
 2 –  $\text{Cs}_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ;  
 3 –  $[(\text{CH}_3)_4\text{N}]_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;  
 4 –  $[(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{N}]_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  
 5 –  $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4)_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

**Заключение.** Таким образом, систематизированы сведения об ИК-спектроскопии солей кремневольфрамовой кислоты с неорганическими и органическими катионами. Подтверждено, что экстремумы полос колебаний  $\nu_{\text{as}}(\text{W}=\text{O}_\text{d})$  и  $\nu_{\text{s}}(\text{W}=\text{O}_\text{d})$  коррелируют с ионными радиусами внешнесферных катионов и уменьшаются с возрастанием радиуса внешнесферного катиона.

### Список литературы

1. Hanifah, Y. Polyoxometalate intercalated MgAl-layered double hydroxide for degradation of malachite green/ Y. Hanifah, R. Mohadi, M. Mardiyanto, et al. // *Ecol. Eng. Environ. Technol.* – 2023. – Vol. 24, No. 2. – P. 109–119. – <https://doi.org/10.12912/27197050/157093>
2. Zhang, Y. State-of-the-art advances in the syntheses, structures, and applications of polyoxometalate-based metal–organic frameworks/ Y. Zhang, Y. Liu, D. Wang, et al. // *Polyoxometalates.* – 2023. – Vol. 2, No 1. – Article ID 9140017. – 30 p. – <https://doi.org/10.26599/POM.2022.9140017>
3. Li, B. Perspective of polyoxometalate complexes on flexible assembly and integrated potentials/ B. Li, L. Wu // *Polyoxometalates.* – 2023. – Vol. 2, No 1. – Article ID 9140016. – 9 p. – <https://doi.org/10.26599/POM.2022.9140016>
4. da Silva, M.J. Cesium heteropolyacid salts: synthesis, characterization and activity of the solid and versatile heterogeneous catalysts/ M.J. da Silva, A.A. Rodrigues, N.P.G. Lopes // *Chem.* – 2023. – Vol. 5, No. 1. – P. 662–690. – <https://doi.org/10.3390/chemistry5010047>
5. Wu, J. Research progress of polyoxometalates photocatalyst for degradation of organic wastewater/ J. Wu, D. Wu, W. Peng, et al. // *Appl. Chem. Eng.* – 2022. – Vol. 5, No. 1. – P. 96–106. – <https://doi.org/10.24294/ace.v5i1.1635>

## АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ СВИНЦОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

*Рипная М.М.*

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
г. Макеевка, РФ

**Введение.** Переработка аккумуляторов – это проблема, которая сейчас встала перед всеми странами мира.

Основная цель переработки автомобильных аккумуляторов заключается в предотвращении попадания опасных веществ в окружающую среду. Особую опасность представляют свинцово-кислотные аккумуляторы.

Известен ряд способов переработки свинцовых аккумуляторов с целью их частичной или окончательной утилизации [1,2].

Считаем, что наиболее приемлемым является способ переработки отработанных свинцовых аккумуляторов, заключающийся в электрохимической переработке неразрушенных свинцовых пластин в среде борфтористоводородной кислоты и последующем выделении металлического свинца на катоде.

Широкое распространение в промышленности получили фторборатные электролиты [3]. Они достаточно просты в приготовлении и корректировании, обеспечивают получение высококачественных и мелкокристаллических покрытий.

**Основная часть.** Фотометрическое определение свинца и его соединений в воздухе проводилось согласно методическим указаниям [4].

Целью данной работы является определение количественной зависимости выбросов соединений свинца в атмосферу от поверхностного натяжения электролита в результате изменения концентрации добавки ПАВ - сульфидно-спиртовая барда (ССБ).

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. При концентрации ССБ равной 1 г/л наблюдается наименьшее значение поверхностного натяжения.

Изучили воздействие концентрации ССБ на поверхностное натяжение ( $\sigma$ ) электролита на границе с воздухом и представили абсолютные и удельные выбросы свинца с зеркала борфтористоводородного электролита при температуре 25 °С (табл.1).

Таблица 1

Абсолютные и удельные выбросы 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 свинца, г/(час·м <sup>2</sup> )	Дк, А/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	0,0030	189	0,31	0,0113
0,19	70,5	0,0040	195	0,38	0,0105
0,45	62,6	0,0050	222	0,51	0,0100
0,5	60,5	0,0062	256	0,64	0,0098
0,6	57,1	0,0070	261	0,71	0,0098
0,7	56,8	0,0083	270	0,83	0,0097
0,84	50,9	0,0087	295	1,02	0,0085
0,96	48,4	0,0095	315	1,06	0,0086
1	44,8	0,010	320	1,24	0,0081

По табличным данным наблюдается рост выбросов свинца по мере уменьшения поверхностного натяжения на границе раствор – воздух.

Результаты опытов оформили в виде графика зависимости количества выбросов свинца от поверхностного натяжения в зависимости от концентрации органической добавки.

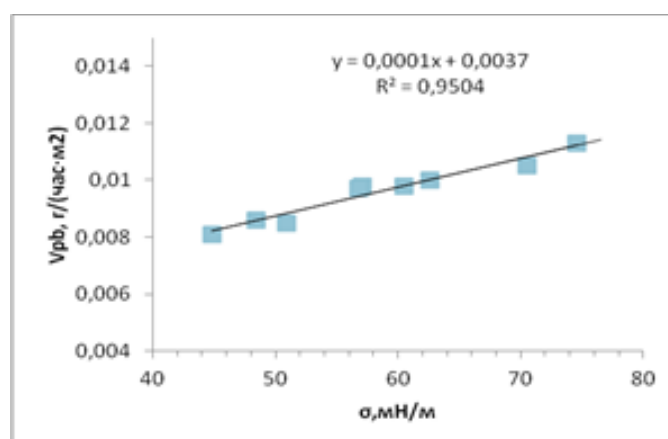


Рис. 1. Зависимость выбросов свинца от величины поверхностного натяжения

Хорошая корреляция выбросов свинца от величины поверхностного натяжения ( $R^2=0,95$ ) говорит о зависимости этих величин друг от друга.

Также наблюдается увеличение Дк (189-320 А/м<sup>2</sup>) по мере увеличения концентрации ПАВ и уменьшения поверхностного натяжения на границе раствор-воздух. 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 Дк. Пропорционально Дк растет скорость осаждения свинца на катоде, и также уменьшаются удельные выбросы свинца, приходящиеся на единицу массы выделенного свинца.

Таким образом, введение в состав электролита ПАВ, несмотря на увеличение абсолютных выбросов свинца в атмосферу, приводит к росту скорости извлечения свинца из раствора и уменьшению удельных выбросов данных загрязняющих веществ.

**Заключение.** Результаты, полученные вследствие проведенных данных исследований, могут быть использованы для разработки новых составов электролитов, обеспечивающих более высокую экологическую безопасность и скорость извлечения свинца при электрохимической переработке свинцово-кислотных аккумуляторных батарей.

#### Список литературы

1. Морачевский, А.Г. Новые направления в технологии переработки лома свинцовых аккумуляторов (обзор) // Журнал прикладной химии, 1997. – Т. 70. - Вып. 1. – С.45–47.
2. Беленький, М.А. Электроосаждение металлических покрытий: Справочник / Беленький М.А., Иванов А.Ф.// М.: Металлургия, 1985. – 292 с.
3. Иванова, Н.Д., Иванов, С.В., Болдырев, Е.И. Гальванотехника. Фторсодержащие электролиты и растворы / Справочник. – Киев: «Наукова думка», 1993. – 445 с.
4. МУ 2013-79 Методические указания на фотометрическое определение свинца и его соединений в воздухе. – М., 1979. – 19 с.

УДК 628.168. + 544.526.5

## ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАНУЛИРОВАННОГО КАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА СО СТРУКТУРОЙ АНАТАЗ

*Спиридонов Н.А., Сидак И.Л., Кара А.В.,*

*Кузенко Д.В.,* канд. физ.-мат. наук

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт «Реактивэлектрон», г. Донецк, РФ

*n.a.spir@mail.ru*

**Введение.** Фотокаталитическое разрушение органических, токсичных и микробиологических веществ в питьевой воде является одним из наиболее эффективных, экологически чистым и экономичным методом очистки питьевой воды. В результате облучения катализатора ультрафиолетом на его поверхности происходит разложение растворённых в воде органических соединений до простейших (вода, углекислый газ, азот и пр.). В настоящее время известно большое количество

катализаторов, но наиболее безвредным, доступным и дешевым является нанодисперсный диоксид титана ( $\text{TiO}_2$ ) с кристаллической структурой анатаз [1]. **Целью** исследований является получение высокоэффективного фотокатализатора в виде прочных гранул, пригодных для использования в картриджах устройств фотокаталитической очистки воды проточного типа.

**Основная часть.** Проведены исследования по получению прочных гранул фотокатализатора и исследованию их фотокаталитических свойств при облучении ультрафиолетовым светом длиной волны 253,7 нм. Гранулы получали двумя методами:

1. В порошок нанодисперсного диоксида титана  $\text{TiO}_2$  добавляли 2% масс  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , и, вводя связку, методом прессования изготавливали «сырые» гранулы, с последующим обжигом в печи при температуре 450 °С в течение 2 часов.

2. Приготовленные первым методом гранулы помещали в четырёхпроцентный водный раствор борной кислоты  $\text{H}_3\text{BO}_3$  и выдерживали в течение 4-х часов. Затем их высушивали в сушильном шкафу при температуре 120°С, подвергали обжигу в муфельной печи при температуре 450 °С в течение 30 минут и охлаждали вместе с печью до комнатной температуры.

Для исследования фотокаталитической активности полученных гранул использовали водный раствор метиленового синего с начальной концентрацией 0,01% и измеряли оптическую плотность раствора в кварцевых кюветах с толщиной слоя 10 мм на фотоколориметре КФК-2-МП при длине волны 663 нм, то есть линии максимального поглощения индикатора.

Гранулы, изготовленные первым методом, оказались недостаточно прочными. При фотокаталитическом разложении водного раствора метиленового синего гранулы фотокатализатора частично разрушались, от чего в растворе появлялась взвесь. В результате отстаивания в течение 2-4 часов появлялся осадок мелких частиц катализатора, но это не ухудшало эффективность каталитического разрушения метиленового синего. Использование таких гранул для картриджа аппарата водоочистки питьевой воды нежелательно [2].

Повысить прочность гранул из нанодисперсного  $\text{TiO}_2$  путём повышения температуры обжига сформированных «сырых» гранул невозможно. Это связано с тем, что порошок  $\text{TiO}_2$ , полученный методом химического осаждения является аморфным и не обладает фотокаталитическими свойствами. Структурные исследования проведены на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3. Установлено, что при обжиге аморфного порошка  $\text{TiO}_2$ , полученного методом химического осаждения, с повышением температуры, происходит последовательность фазовых переходов: аморфный → брукит → анатаз → рутил [3]. Фотокаталитическими свойствами обладает  $\text{TiO}_2$  с кристаллической

структурой анатаз, который при нагреве выше 500-600°C переходит в структуру рутил. Учитывая высокую температуру плавления  $\text{TiO}_2$  (выше 1800°C) спеканием при температуре не выше 600°C получить прочные гранулы практически невозможно [4].

Для повышения прочности гранул фотокатализатора мы воспользовались вторым методом. Далее гранулы испытывали на прочность и фотокаталитическую эффективность. При испытании гранул их фотокаталитическая активность не снизилась, а гранулы не разрушались.

Таблица 1

Результаты испытаний гранулированного фотокатализатора до и после пропитки в 4% водном растворе борной кислоты с последующей прокалкой

Время ФК, мин	Опт плотность Метод 1	Опт плотность Метод 2
0	0,834	0,832
10	0,502	0,586
15	0,321	0,456
20	0,205	0,341
30	0,140	0,206
40	0,111	0,108
50	0,080	0,059
60	0,067	0,038
Отстоялся 2 ч	0,021	0,019

Результаты сравнения изменения степени разложения метиленового синего в процессе облучения ультрафиолетом для двух предложенных методов показаны на рисунке 1.

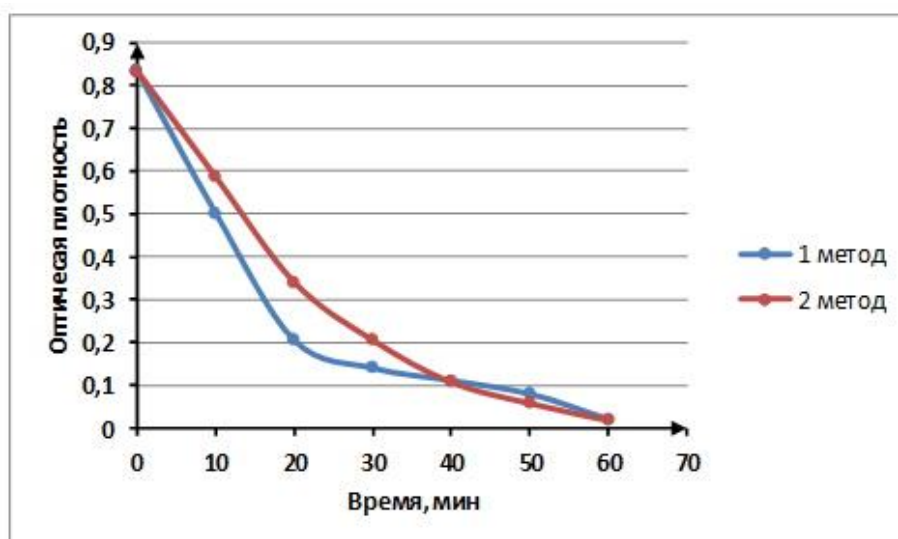


Рис. 1. Изменение оптической плотности раствора от времени облучения ультрафиолетом

Сравнение результатов фотокаталитического разложения метиленового синего показало, что эффективность фотокатализа гранул, полученных 1 способом выше, но прочность выше у гранул, полученных 2 способом.

#### **Заключение.**

1. Разработана лабораторная методика получения фотокаталитического материала на основе нанодисперсного диоксида титана  $TiO_2$  с кристаллической структурой анатаз, по эффективности не уступающего известным аналогам.
2. Получены гранулы фотокатализатора, прочность которых позволяет их использовать в качестве картриджей серийно выпускаемых установок очистки питьевой воды.

#### **Список литературы**

1. Guo, Q. Fundamentals of  $TiO_2$  Photocatalysis: Concepts, Mechanisms, and Challenges / Q. Guo, C. Zhou, Z. Ma, and X. Yang // Adv. Mater. – 2019. – P. 1901997. – DOI: 10.1002/adma. 201901997.
2. Сидак, И.Л. Фотокаталитические устройства и способы очистки воды / И.Л. Сидак, В.Ф. Раков, В.М. Погибко. // VI Международный Научный форум Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса», Том 4. – 26-28 мая 2020. – Донецк: Донецкая политехника. – С. 30–34.
3. Mo, S. Electronic and optical properties of three phases of titanium, dioxide: Rutile, anatase and brookite / S. Mo, W. Ching // Physical Review B. – 1995. – V.51. – № 19. – P. 13023–13032.
4. Гергузин, Я.Е. Физика спекания.-2-е изд. / Я.Е. Гергузин – М.: Наука, 1984. – 312 с.

УДК 546.776 `656

### **КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ПРАЗЕОДИМА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОКСИДОМ МОЛИБДЕНА.**

**Чебышев К.А.**<sup>1,2</sup>, канд. хим. наук, доц., **Пасечник Л.В.**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь, РФ

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*Chebyshev.konst@mail.ru*

**Введение.** Соединения редкоземельных элементов демонстрируют широкий спектр функциональных свойств и могут применяться, как катализаторы, ионные, проводники, диэлектрические материалы, люминофоры и т.д. Оксид празеодима  $Pr_6O_{11}$  находит применение, как катализатор окисления органических веществ и электрокаталитически-активный компонент электродов твердооксидных топливных элементов и

литий-ионных аккумуляторов. При этом получение керамики из оксида празеодима является затруднительным ввиду множества полиморфных превращений между промежуточными фазами с различной кислородной стехиометрией, которые ведут к разрушению материала. Поэтому перспективным направлением исследований является поиск соединений на основе оксида празеодима с более стабильными механическими, а также улучшенными функциональными свойствами.

Молибдаты празеодима обладают каталитическими и проводящими свойствами, однако, взаимодействия в системе  $\text{Pr}_6\text{O}_{11} - \text{MoO}_3$  при преобладающем содержании оксида празеодима изучены недостаточно, о чем свидетельствуют сообщения о получении новых соединений. В данной работе проведено систематическое изучение системы  $1/6\text{Pr}_6\text{O}_{11} - \text{MoO}_3$  с содержанием оксида празеодима 67 – 100 %.

**Методы и материалы.** Взаимодействие оксидов празеодима и молибдена исследовано методами рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии, ИК-спектроскопии и синхронного термического анализа. Кристаллическая структура изучена по данным дифракции нейтронов высокого разрешения и атомистического моделирования в программе GULP.

**Результаты и обсуждение.** Согласно результатам рентгенофазового анализа при прокаливании при температуре  $1000^\circ\text{C}$  взаимодействие оксидов  $\text{MoO}_3$  и  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  сопровождается образованием тетрагональной фазы  $\text{Pr}_2\text{MoO}_6$ . Увеличение температуры синтеза до  $1100^\circ\text{C}$  приводит к образованию фазы примерного состава  $\text{Pr}_4\text{MoO}_9$ . Область гомогенности данной фазы определена экстраполяцией зависимости массовых долей примесных фаз  $\text{Pr}_2\text{MoO}_6$  и  $\text{Pr}_6\text{MoO}_{12}$  и составляет  $x = 4 - 4,2$ .

Кристаллическое строение фазы  $\text{Pr}_4\text{MoO}_9$  описывается в моноклинной сингонии (пространственная группа  $C 2/m$ ) с параметрами ячейки  $a = 16.7211(9) \text{ \AA}$ ,  $b = 11.9894(7) \text{ \AA}$ ,  $c = 9.5588(5) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 109.6149(7)^\circ$ . Уточнение структуры по данным дифракции нейтронов показало, что данная фаза содержит семь кристаллографически неравноценных положения атомов празеодима, причем позицию  $2d$  занимают атомы празеодима и молибдена. С учетом переменной степени окисления празеодима и, соответственно, переменной кислородной стехиометрии формулу соединения можно записать в виде  $\text{Pr}_4\text{MoO}_{9+\delta}$ .

Увеличение температуры синтеза приводит к распаду молибдата  $\text{Pr}_4\text{MoO}_{9+\delta}$  после прокаливании при  $1200^\circ\text{C}$ . На дифрактограммах системы обнаруживаются рефлексы фаз  $\text{Pr}_2\text{MoO}_6$  и  $\text{Pr}_6\text{MoO}_{12+\delta}$ . Согласно результатам рентгенофазового анализа молибдат состава  $\text{Pr}_6\text{MoO}_{12+\delta}$  имеет кубическую структуру неискаженного флюорита, несмотря на присутствие ионов  $\text{Mo}^{+6}$  и  $\text{Pr}^{+3/+4}$ , которые обладают значительно различающимися размерами и зарядами. Примечательно, что оксид празеодима  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  также кристаллизуется в структуре флюорита и, очевидно, содержит значительное количество вакансий в кислородной подрешетке. Линейное изменение параметра элементарной

ячейки в диапазоне от 82,5 до 100 мол.%  $1/6\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  подтверждает образование твердых растворов на основе оксида празеодима в указанной области концентраций. Гомогенность твердых растворов на основе оксида празеодима в системе  $\text{Pr}_6\text{O}_{11} - \text{MoO}_3$  подтверждены результатами сканирующей электронной микроскопией с энергодисперсионным микроанализом.

В кристаллической структуре флюоритоподобных твердых растворов позиции катионов занимают ионы молибдена и празеодима. Значительное отличие их размерных характеристик может приводить к сверхструктурному упорядочению ионов молибдена. По данным дифракции нейтронов высокого разрешения на дифрактограммах составов  $\text{Pr}_6\text{MoO}_{12+\delta}$  и  $\text{Pr}_{12}\text{MoO}_{21+\delta}$  не наблюдается дополнительных рефлексов относительно структуры флюорита, однако заселенности позиции кислорода меньше единицы. Можно предположить, что в данных твердых растворах молибден замещает празеодим и располагается статистически в кристаллической структуре, однако меньший размер его ионов приводит к локальному искажению кислородного окружения.

**Заключение.** В ходе работы твердофазным синтезом впервые получен ряд молибденсодержащих твердых растворов на основе оксида празеодима со структурой флюорита. Атомы молибдена в твердых растворах располагаются статистически по катионным позициям, а большой заряд и меньший размер приводит к искажению кислородного окружения.

*Исследование проводилось по теме государственного задания (№ госрегистрации 1023031100001-4-1.4.2).*

УДК 546+544.3+542.9

## САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ В НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

**Шаповалов В.В.**, д-р хим. наук, проф., **Берестовая А.А.**

<sup>1</sup> ФГБНУ «Научно-исследовательский институт «Реактивэлектрон», г. Донецк, РФ  
[ww\\_shapovalov@mail.ru](mailto:ww_shapovalov@mail.ru)

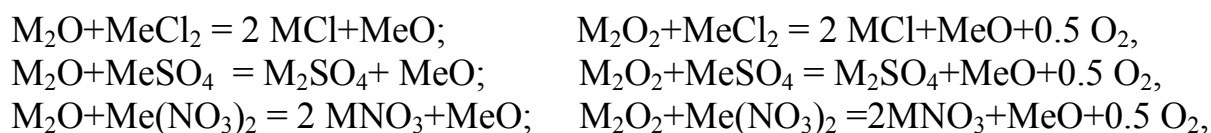
Ничто не оказало такого влияния на развитие человечества как освоение человеком процесса горения. Если на первом этапе горение использовалось как источник теплоты для выживания человека в условиях неблагоприятной окружающей среды и с целью освоения новых территорий с суровым климатом, то в дальнейшем начало применяться для технологических и военных целей. С развитием человечества роль энергетики только возрастала и возрастает.

В технологических целях использовалась энергия горения топлива, а продукты его горения особого интереса не представляли. Примером такого

использования горения в технологии является пирометаллургия. Ситуация изменилась когда в 1967 году российскими учеными Мержановым А.Г., Боровинской И.П. и Шкиро В.М. был изобретен самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) как способ получения тугоплавких соединений при горении смесей простых веществ - порошков металлов и неметаллов [1]. Движущей силой СВС твердых химических соединений является энергетический эффект химической реакции между реагентами, который обеспечивает протекание процесса в форме горения. СВС между химическими соединениями в качестве реагентов по данным [1] подразделяется на подклассы: 1) соединения в качестве окислителей; 2) соединения в качестве горючих; 3) СВС с восстановительной стадией; 4) СВС оксидов из химических соединений. Достоинствами метода являются простота, одностадийность и экологичность, что позволяет отнести СВС по ряду факторов к «зеленой химии». Некоторые трудности в использовании метода, при недостаточной изученности процесса может вызвать контроль СВС вследствие высоких скоростей и температур процесса. Положительные качества СВС вызвали интерес к использованию процесса горения для синтеза наноразмерных материалов [2]. В 1988 году впервые опубликован метод синтеза наноразмерных частиц  $Al_2O_3$  из  $Al(NO_3)_3$  и мочевины  $CH_4N_2O$  путем сжигания их раствора. Горение в известных системах не очень подходит для получения наночастиц малого размера т. к. при высоких температурах происходит спекание частиц.

Изученные ранее реакции относятся к ОВР. В реакциях между простыми веществами перенос электронов обусловлен различной электроотрицательностью элементов образующих реагирующие вещества, либо различной степенью окисления атомов элементов в соединениях.

Нами была поставлена задача - найти тип реакций, которые протекают в режиме самораспространяющегося синтеза, но при условии, что развиваемая температура не превышает температуры плавления материала образующего наночастицы. Было установлено [3], что экзотермические взаимодействия между оксидными соединениями щелочных металлов и солями двух валентных металлов в твердом состоянии протекают в соответствии со схемами:



где М – атом щелочного металла, Me – атом двухвалентного металла.

В отличие от известных реакций, энергетика предложенных реакций обусловлена не ОВР, а процессами обмена катионами/анионами и перестройкой кристаллических решеток. Аналогичный тип обменных реакций между  $MeCl_3$  и  $Li_3N$  приводящих к образованию  $MeN$  и  $LiCl$  установлен позже в [4].

Термодинамический анализ показал, что температура в процессе взаимодействия достигает в основном более 1000 К (рис.1), и процесс протекает в режиме самораспространяющегося синтеза с линейной скоростью движения фронта реакции в диапазоне 20-100 мм/мин.

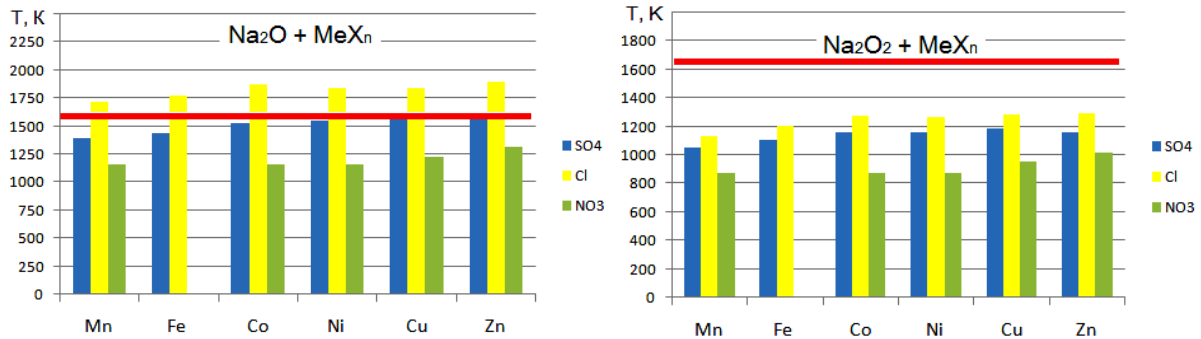


Рис. 1. Температура горения солей с оксидными соединениями натрия. Горизонтальные линии соответствуют наименьшей температуре плавления из ряда оксидов двухвалентных металлов приведенных на рисунке

Как видно, в большинстве систем температура горения не достигает температур плавления образующихся оксидов, что препятствует спеканию частиц. Эту же функцию выполняют и образующиеся соли щелочных металлов, изолирующие частицы от агрегации и спекания. Вследствие этого оксиды получают в виде частиц наноразмерного диапазона. Поскольку традиционный метод СВС протекает при температурах превышающих 1500°С, самораспространяющийся синтез при более низких температурах формально можно отнести к низкотемпературному горению. Для всех рассмотренных систем наблюдается хорошая корреляция между тепловым эффектом реакции оксид–соль и суммой потенциалов ионизации двухвалентных металлов. Пример такой зависимости представлен на рис. 2.

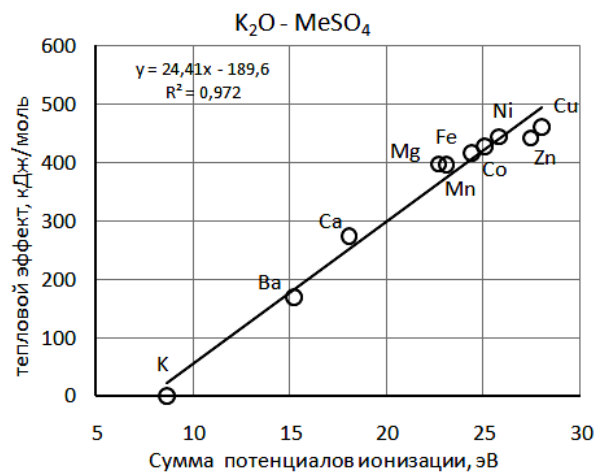


Рис. 2. Зависимость теплового эффекта реакции в системе K<sub>2</sub>O-MeSO<sub>4</sub> от суммы потенциалов ионизации металла



Таким образом, рассмотренный тип взаимодействия представляет значительный интерес для синтеза неорганических наноразмерных оксидных материалов. На основе изученных реакций получены порошки суперпарамагнетиков [5] и предложена технология утилизации пероксидных компонентов средств регенерации воздуха с получением функциональных материалов [6].

#### Список литературы

1. Мержанов, А. Г. Твердопламенное горение / А. Г. Мержанов, А. С. Мукасян. – Москва: – Изд-во ТОРУС ПРЕСС, 2007. – 336 с.
2. Баян, Е. М. Методы получения наноразмерных оксидных материалов: учебное пособие / Е. М. Баян, М. Г. Волкова. – Ростов-на-Дону, Таганрог : Изд-во Южного федерального университета, 2022. – 174 с.
3. Шаповалов, В.В. Закономерности самораспространяющегося взаимодействия сульфатов металлов с пероксидными соединениями натрия / В.В. Шаповалов, А. Н. Гороховский // Укр. хим. журн. – 2001. – Т.67, №2. – С. 85–88.
4. H.-Jurgen Meyer. Solid state metathesis reactions as a conceptual tool in the synthesis of new materials / H.-Jurgen Meyer // Dalton Trans., – 2010, – 39, – P. 5973–5982.
5. Берестовая, А. А. Низкотемпературное горение в системах  $\text{MeSO}_4 - \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 - \text{Na}_2\text{O}_2$  как метод синтеза суперпарамагнетиков / А. А. Берестовая, В. В. Шаповалов, А. А. Байло // Инновационные перспективы Донбасса. – Донецк: ДОННТУ, Т. 4: Перспективные направления развития экологии и химической технологии. – 2022. – С. 12–15
6. Берестовая, А.А. Использование отходов пероксидных компонентов средств регенерации воздуха в технологии получения функциональных материалов / А. А. Берестовая, В. В. Шаповалов // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2022. – № 3. – С. 57–64.

УДК 546.611

### ПОЛУЧЕНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ $\text{Pb}_{10}(\text{GeO}_4)_4(\text{VO}_4)_2$ , МОДИФИЦИРОВАННОГО ЛАНТАНОМ

*Яблочкова Н.В.*, канд. хим. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

*n.iablochkova@donnu.ru*

**Введение.** Структура и свойства природных апатитов разного состава подробно изучены. Тем не менее, интерес к этим соединениям не ослабевает по причине возможности синтеза твердых растворов на их основе. В катионную и анионную подрешетку представителей этого структурного типа могут входить большинство элементов Периодической системы. Такая уникальная толерантность к изоморфным замещениям позволяет получать функциональные материалы с полезными в практическом плане свойствами.

**Цель** представленного исследования – разработка методики синтеза лакунарного германато-ванадата свинца и твердых растворов на его основе, допированных лантаном. Подобный состав апатита сходен с природным ванадинитом, который в свою очередь, в модифицированном виде показывает люминесцентные и каталитические свойства.

Образцы системы  $Pb_{8-x}Ca_2La_x(GeO_4)_4(VO_4)_2$  были синтезированы двумя методами для выбора наиболее оптимального: твердофазным и полукерамическим. Подобраны исходные вещества, растворители для всех компонентов, условия существования растворов, температурный режим и продолжительность синтеза. Установлено, что второй вариант является более рациональным и выгодным, поскольку в данном случае снижен временной интервал высокотемпературного синтеза.

Определение границы существования гомогенных твердых растворов при гетеровалентном замещении свинца редкоземельным элементом в лакунарном апатите проводилось методом РФА, параллельно был проведен расчет параметров гексагональной элементарной ячейки апатита. Условия проведения эксперимента: дифрактометр ДРОН-2,  $CuK_{\alpha}$  излучение, Ni фильтр, скорость движения счетчика –  $2^{\circ}$  в минуту ( $2\theta$ ).

Образование гомогенных образцов подтверждено также методом сканирующей электронной микроскопии. Получены данные, свидетельствующие о равномерном распределении элементов по поверхности зерен, дана их оценка, о содержании всех элементов в твердых растворах, совпадающих с теоретическими данными. Условия проведения эксперимента: растровый электронный микроскоп JSM-6490LV, оснащенный рентгеновским энергодисперсионным спектрометром INCAPentaFETx3.

*Исследование проводилось по теме государственного задания (FRRE-2023-0014)*

# Физическая химия

УДК 547.565:547.917:544.43:544.18

## СТРУКТУРА И АКТИВНОСТЬ Н-КОМПЛЕКСОВ ПРОТОКАТЕХОВОЙ КИСЛОТЫ С МОНОСАХАРИДАМИ В РЕАКЦИЯХ СО СВОБОДНЫМИ РАДИКАЛАМИ

*Белая Н.И.*<sup>1</sup>, д-р хим. наук, доц.,

*Белый А.В.*<sup>1</sup>, канд. хим. наук, доц.,

*Заречная О.М.*<sup>2</sup>, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.,

*Тихонова Г.А.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

<sup>2</sup> ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко»,

г. Донецк, РФ

*nbelaya@donnu.ru*

Актуальность и практическое применение фенольных соединений, входящих в состав растительных тканей, обусловлены широким спектром их биологического действия, выраженной антиокислительной активностью и способностью действовать в комбинации с биологически активными веществами – липидами, белками, углеводами, которые в определенных условиях могут усиливать антирадикальные свойства фенолов [1, 2]. Эффекты синергизма, возникающие в таких смесях, лежат в основе комбинированной лекарственной терапии и подразумевают достижение многоцелевого терапевтического эффекта при использовании меньшего количества компонентов смеси.

Ранее авторами было установлено [3, 4], что антирадикальные свойства флавоноидов могут быть усилены за счет образования молекулярных Н-комплексов с моносахаридами. При этом возникает вопрос о влиянии особенностей структуры образующихся Н-комплексов на величину синергического эффекта фенольно-сахаридных смесей.

Цель работы – исследовать особенности строения и реакционной способности Н-комплексов протокатеховой кислоты (НООСArOH) с моносахаридами (Sacch) в реакции с радикалом 2,2'-дифенил-1-пикрилгидразилом (DPPH<sup>•</sup>) в буферных растворах с рН от 2 до 9.

По величинам скоростей исследуемых реакций, определенных методом фотоколориметрии, рассчитывали синергические эффекты композиций ( $SE_{max}$  и  $S$ ). Процесс комплексообразования между протокатеховой кислотой и моносахаридами исследовали методом ЯМР-спектроскопии. Исследование структуры фенольно-сахаридных водородных комплексов проводили в рамках теории функционала плотности DFT с пакетом ORCA 5.0.3 [5] с применением двухуровневого

подхода. Для полной оптимизации геометрии молекул, анионов, ион-радикалов и комплексов в основном состоянии использовали композитный метод  $r^2$ SCAN-3c. Для всех равновесных структур уровня  $r^2$ SCAN-3c был выполнен одноточечный расчет энергии более высокого уровня с использованием базиса ma-def2-QZVPP и гибридного функционала  $\omega$ B97M-V с разделением по диапазонам и поправкой на дисперсию VV10. Для расчетов в среде использовали аналогичный двухуровневый подход. Эффект неявного растворителя учитывали с помощью модели проводникового поляризуемого континуума CPCM со схемой гауссовского заряда и ван-дер-ваальсовом типом полости (GVDW).

Установлено (таблица 1), что композиции протокатеховой кислоты с моносахаридами в реакции с DPPH $\cdot$  проявляют максимальную синергическую активность в солянокислом буферном растворе с pH = 2. Наиболее выражен  $SE_{\max}$  для смесей с галактозой и маннозой при соотношении HOOCArOH–Sacch 70:30 об % в растворе с суммарной концентрацией  $5 \cdot 10^{-3}$  моль  $\cdot$  л $^{-1}$ . Величина синергического эффекта, определенная по начальным скоростям исследуемой реакции, снижается в среднем в 2–3 раза при переходе к нейтральному буферному раствору с pH 7.35. Дальнейший рост pH среды до 9 приводит либо к практически полному подавлению антирадикального синергизма в исследованных фенольно-сахаридных смесях, либо к появлению эффекта антагонизма.

Таблица 1

Эффекты синергизма ( $SE_{\max}$  и  $S$ ) бинарных композиций протокатеховая кислота–моносахарид в реакции с DPPH $\cdot$  в водных средах с разным pH

Моносахарид	pH = 2		pH = 7.35		pH = 9	
	$SE_{\max}$ , %	$S$	$SE_{\max}$ , %	$S$	$SE_{\max}$ , %	$S$
глюкоза	23.2±0.9	0.86	9.8±0.4	0.77	4.51±0.18	0.73
галактоза	58.0±1.7	1.11	18.4±0.7	0.83	4.90±0.19	0.73
манноза	41.3±1.4	1.05	12.0±0.4	0.78	4.51±0.18	0.73
фруктоза	24.9±0.9	0.87	9.9±0.3	0.77	3.69±0.11	0.73
сорбоза	28.4±0.9	0.90	8.2±0.3	0.76	3.80±0.11	0.73
арабиноза	17.7±0.7	0.82	3.9±0.12	0.73	1.02±0.05	0.71
ксилоза	21.0±0.8	0.85	5.1±0.2	0.74	1.81±0.06	0.71
рибоза	7.8±0.3	0.75	3.50±0.12	0.72	-(2.09±0.06)	0.69

Примечание. Соотношение фенол–сахарид в растворе 70:30 об% с суммарной концентрацией смеси в буфере с pH 2 –  $5 \cdot 10^{-3}$  моль  $\cdot$  л $^{-1}$ , в буфере с pH 7.35 –  $5 \cdot 10^{-5}$  моль  $\cdot$  л $^{-1}$ , в буфере с pH 9 –  $3 \cdot 10^{-5}$  моль  $\cdot$  л $^{-1}$ .

Механизм синергического действия заключается в образовании межмолекулярных фенольно-сахаридных комплексов, которые дезактивируют DPPH $\cdot$  быстрее, чем исходный антиоксидант – протокатеховая кислота:

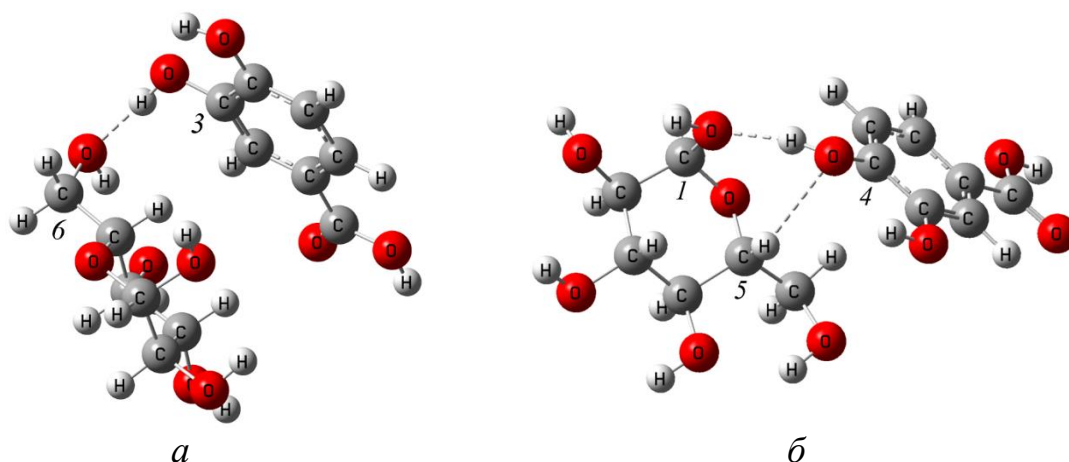


Схема 1

Наличие Н-комплексов было непосредственно подтверждено ЯМР-спектроскопией. Квантово-химическими методами показано (схема 1), что среди образующихся нековалентных конъюгатов только Н-комплексы донорного (а) и донорно-акцепторного (б) типов имеют энергию ионизации ниже, чем у исходных веществ, что согласуется с предложенным механизмом синергического действия.

*Исследование проводилось по теме государственного задания (№ госрегистрации 1023030900018-1-1.4.3).*

### Список литературы

1. Mirela, K. Evaluation of Antioxidant Interactions of Combined Model Systems of Phenolics in the Presence of Sugars / K. Mirela, L. Ante, S. Zaklina, S. Mihaela, P. Anita // Nat. Prod. Commun. – 2016. – Vol. 11, N 6. – P. 1445. DOI: 10.1177/1934578X1601101008.
2. Renato, B. The glutathione and the antioxidant potential of binary mixtures with flavonoids: synergisms and antagonisms / B. Renato, S. Carla, C. Andreia, B. Paula, V. Patrícia // Molecules. – 2013. – Vol. 18. – P. 8858. DOI: 10.3390/molecules18088858.
3. Белая, Н.И. Синергический эффект бинарных композиций кверцетин–моносахарид в реакции со свободными радикалами / Н.И. Белая, А.В. Белый, Г.А. Тихонова, Я.С. Удалов, Г.О. Андриенко // Изв.вузов. Химия и хим. технология. – 2019. – Т. 62, № 2. – С. 38. DOI: 10.6060/ivkkt.20196202.5822.
4. Белая, Н.И. Активность межмолекулярных водородных комплексов кверцетина с глюкозой в реакциях с пероксирадикалами хлопкового масла / Белая Н.И., Белый А.В., Тихонова Г.А., Удалов Я.С. // Химия раст. сырья. – 2020. – № 3. – С. 57. DOI: 10.14258/jcprm.2020036631.
5. Neese, F. The ORCA quantum chemistry program package / F. Neese, F. Wennmohs, U. Becker, C. Riplinger // J. Chem. Phys. – 2020. – Vol. 152. – P. 1. DOI: 10.1063/5.0004608.

## МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ДОРОЖНЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОНЫ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

*Братчун В.И.*, д-р техн. наук, проф., *Пшеничных О.А.*,

*Беспалов В.Л.*, д-р. техн. наук, проф.,

*Ромасюк Е.А.*, канд. техн. наук, доц.

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
г. Макеевка, РФ  
*ada@donnasa.ru*

**Введение.** Стандартные горячие асфальтобетоны (ГОСТ Р 58406.2-2020), эксплуатируемые в покрытиях нежестких дорожных одежд регионального и местного значения, и дорожно-уличной сети не обеспечивают нормативные сроки эксплуатации автомобильных дорог. После 4-6 лет эксплуатации они нуждаются в капитальном ремонте [1,2].

Свойства дорожного асфальтобетона – композиционного материала с коагуляционным типом контактов определяются, прежде всего, физико-механическими свойствами нефтяного дорожного битума, рациональным сочетанием типов макроструктуры, мезоструктуры и микроструктуры минерального остова, а также энергетическим взаимодействием на границе раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал» [3,4].

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры на основе методологии системного анализа предложенных физико-химических моделей комплексно-модифицированных асфальтовяжущих веществ и асфальтобетонов с использованием экспериментально-статистического моделирования разработаны новые научно-обоснованные технологические решения получения комплексно-модифицированных и микроармированных хризотиласбестовыми волокнами горячих асфальтобетонных смесей для устройства покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности, способных противостоять колебности, усталостному разрушению, трещиностойкости и термоокислению в результате комплексной модификации органического вяжущего бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 совместно с технической серой с формированием в нефтяном дорожном битуме пространственной полимерной сетки с регулируемым количеством узлов и кинетически гибких цепей из макромолекул и надмолекулярных образований с одновременной активацией СКМС-30 поверхности минерального порошка и микроармирования микро- и мезоструктуры хризотиласбестовыми волокнами марки А-6К-30 (ГОСТ 11138-2019).

**Основная часть.** Целью работы является теоретическое и экспериментальное обоснование состава технологичных дорожных

асфальтополимерсеробетонных смесей для устройства долговечных покрытий нежестких дорожных одежд установлением закономерностей формирования оптимальной структуры комплексно-модифицированного асфальтополимерсеробетона микроармированного хризотиласбестовыми волокнами.

С использованием экспериментально-статистического моделирования установлены оптимальные массовые концентрации компонентов в составе комплексно-модифицированного микроармированного дорожного асфальтополимерсеробетона с применением хризотиласбестового волокна марки А-6К-30, рациональная массовая концентрация которого в минеральной части составляет 1% мас., а массовая концентрация битумополимерсерного вяжущего вещества – 5,5 %.

Экспериментально доказано, что для обеспечения эластичности вяжущего и прочной связи между комплексно-модифицированным битумом и минеральным материалом, эффективным способом является активация поверхности минерального порошка бутадиенметилстирольным термоэластопластом СКМС-30, при концентрации которого 0,5% до 1,0% на поверхности формируется структурированный слой модификатора. Это обеспечивает поверхностную адгезию и когезию пленочного битумополимерсерного вяжущего, что способствует прочной связи на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный порошок».

Асфальтополимерсеробетонные смеси микроармированные хризотил-асбестом характеризуется повышенной удобоукладываемостью и уплотняемостью в диапазоне температур 53-140 °С, в отличие от традиционных горячих асфальтобетонных смесей от 90 °С до 130 °С, а также меньшей удельной энергоемкостью уплотнения  $K_y = 0,95 \frac{\text{Дж}\cdot\text{м}^3}{\text{кг}}$  против  $1,27 \frac{\text{Дж}\cdot\text{м}^3}{\text{кг}}$  у стандартных асфальтобетонных смесей. Это позволит продлить дорожно-строительный сезон и увеличить дальность транспортирования асфальтобетонной смеси, а также продлить эффективное время уплотнения. Это обусловлено тиксотропными свойствами модифицированного асфальтовяжущего вещества, более развитыми адсорбционно-сольватными слоями битумополимерсерного вяжущего на поверхности минеральных материалов и более пологой зависимостью вязкости асфальтовяжущего от температуры.

Установлено, что при комплексной модификации асфальтовяжущего и микроармировании его хризотиласбестовыми волокнами в 12 раз возрастает способность сопротивления напряжениям, формируемых пластические деформации микроармированного хризотил-асбестовым волокном асфальтобетона в сравнении со стандартным мелкозернистым асфальтобетоном типа Б методом определения коэффициента подвижности

по И. А. Рыбьеву. Устойчивость по Маршаллу составляет 26,83 кН в сравнении с 15,26 кН у традиционных асфальтобетонов.

Кроме того, микроармированные асфальтополимерсеробетоны обладают более высоким пределом прочности при изгибе при положительных температурах от 0°C до 60°C, в частности при 60°C 0,9 МПа против 0,2 МПа.

Микроармированные асфальтополимерсеробетоны характеризуются более высокой статистической усталостной долговечностью, которая в среднем увеличивается в 1,9-2,1 раза.

Комплексно-модифицированные дорожные асфальтополимерсеробетоны, микроармированные хризотиласбестовым волокном, характеризуются более высоким значением коэффициента длительной водостойкости  $K_{вд}=0,83$  после 90 суток водонасыщения, в то время как у стандартного асфальтобетона этот показатель равен  $K_{вд}=0,57$ .

Кроме того, комплексно-модифицированный асфальтобетон, микроармированный хризотил-асбестовым волокном, характеризуется высокой устойчивостью циклическому замораживанию и оттаиванию. После 100 циклов попеременного замораживания – оттаивания коэффициент морозостойкости для комплексно-модифицированных асфальтобетонов составляет  $F=0,82$ , тогда как у стандартного асфальтобетона этот показатель равен  $F=0,40$ .

Для ГУП ДНР «АВТОДОР» Министерства транспорта ДНР разработаны «Рекомендации по производству и применению асфальтополимерсеробетонных смесей армированных хризотиласбестовыми волокнами для устройства слоев нежестких дорожных одежд». Рассчитана предполагаемая экономическая эффективность от внедрения комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонов, которая составляет 250 рублей на одну тонну внедренного инновационного материала.

### Список литературы

1. Киричек А. В. Моделирование процесса повреждения асфальтобетонных покрытий на основе данных полевых испытаний / А. В. Киричек, М. В. Бахарев, С. И. Хорошева. – Текст : непосредственный // Вестник Челябинского государственного университета. – 2016. – №12 (386). – С. 59–65. – ISN 1996-7489
2. Бахрах Г. С. Модель оценки срока службы дорожной одежды нежесткого типа // Наука и техника в дорожной отрасли [Текст] / Г. С. Бахрах. – РФ: Москва, 2013. – № 2. – С. 35–41.
3. Дорожный асфальтобетон [Текст] / [Л. Б. Гезенцвей, Н. В. Горелышев, А. М. Богуславский, И. В. Королев]. – М. : Транспорт, 1989. – 237 с.
4. Углова Е. В. Усталостная долговечность эксплуатируемых асфальтобетонных покрытий [Текст] / Е. В. Углова, С. К. Илиополов, М. Г. Селезнев. – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2009. – 244 с.



## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОМЕПРАЗОЛА В 1Н НСІ

*Брыксина В.А.<sup>1</sup>, Курьято Н.А.<sup>2</sup>, Айдемирова Ф.А.<sup>1</sup>, Байшева У.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»,  
г. Тамбов, РФ

<sup>2</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники  
и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, РФ

*bryksina\_98@mail.ru*

**Введение.** Наиболее широко используемым сплавом в промышленных процессах, производстве и строительстве является сталь из-за ее превосходных механических качеств, легкой доступности и, что наиболее важно, низкой стоимости производства. Воздействие кислот на стальную поверхность приводит к проблемам с коррозией. Кислоты часто используются в промышленных процессах, таких как переработка сырой нефти, травление, промышленная очистка, кислотное окалинообразование, нефтехимические процессы и др. Присутствие соляной кислоты может вызвать коррозию труб, что приведет к снижению добычи нефти.

Коррозия представляет собой разрушение металла в результате химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой. Коррозионные процессы быстро развиваются, после разрушения защитного слоя на металлической поверхности и сопровождаются рядом реакций, изменяющих состав и свойства металлического изделия. Применение ингибиторов коррозии является одним из возможных решений данной проблемы.

С этой целью в настоящий момент актуально применение натуральных продуктов, экстрактов растений поскольку является альтернативой другим видам ингибиторов из-за их биоразлагаемости, доступности, простоты получения, а также низкой токсичности.

Широкое применение в качестве ингибиторов кислотной коррозии получили и лекарственные препараты с истекшим сроком годности. Так как большинство препаратов были синтезированы из органических веществ и часто имеют в своем составе необходимые функциональные группы, содержащие атомы O, N, S, P. Образующиеся в молекуле связи формируют электронные пары в присутствии атомов и ионов металлов. В результате адсорбции на поверхности металла создается защитный слой. Именно поэтому лекарственные препараты могут являться альтернативными коррозионными ингибиторами.

**Цель** данного исследования состояла в изучение ингибирующей способности просроченного препарата Омепразол -5-метокси 2-[(4-метокси-3,5-диметилпиридин 2-ил)метилсульфинил]-1Н-бензимидазол, в

1Н растворе соляной кислоты с помощью метода импедансной спектроскопии. Структурная формула исследуемого ингибитора представлена на рис.1. Концентрация ингибитора находилась в пределах 10-40 мг/л.

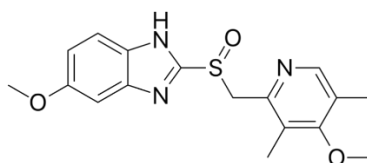


Рис. 1. Структурная формула Омепразола

**Основная часть.** Спектры импеданса изучали в диапазоне частот ( $\omega/2\pi$ ) 10 кГц - 0,05 Гц с амплитудой переменного напряжения 10 мВ, используя электрохимический измерительный комплекс Solartron (Великобритания) состоящий из анализатора импеданса SI 1255 и потенциостата SI 1287.

Рабочий (Ст3) и вспомогательный платиновый электроды располагали в трехэлектродной ячейке. В качестве электрода сравнения использовали хлоридсеребряный. Потенциалы пересчитывали на н.в.ш.

Образцы полировали и обезжиривали ацетоном. Измерения частотных спектров импеданса проводили через 15 минут после погружения электрода в рабочий раствор. Результаты измерения импеданса обрабатывали по программе ZView 3.0, позволяющей вести расчеты по эквивалентным схемам с числом элементов до 20. Во избежание ситуации нахождения локального минимума функции расчет повторяли несколько раз с различными начальными значениями элементов схемы.

Анализ годографов импеданса на стальном электроде проводили с использованием эквивалентной схемы (рисунок 2).

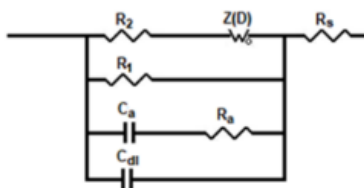


Рис. 2. Эквивалентная схема, имитирующая поведение стального электрода в кислых растворах.

Защитная эффективность ингибитора в рассматриваемой среде исследовалась с помощью метода электрохимического импеданса. На рисунке 3 представлены годографы, полученные в 1Н растворе HCl. Как видно, диаметр дуг увеличивается с увеличением концентрации ингибитора, что указывает на увеличение общего сопротивления в системе и снижение скорости коррозии.

Из таблицы 1 следует, что с увеличением концентрации Омепразола сопротивление переносу заряда в анодной реакции  $R_1$  увеличивается при

менее значительном увеличении сопротивления переносу заряда катодной реакции  $R_2$ .

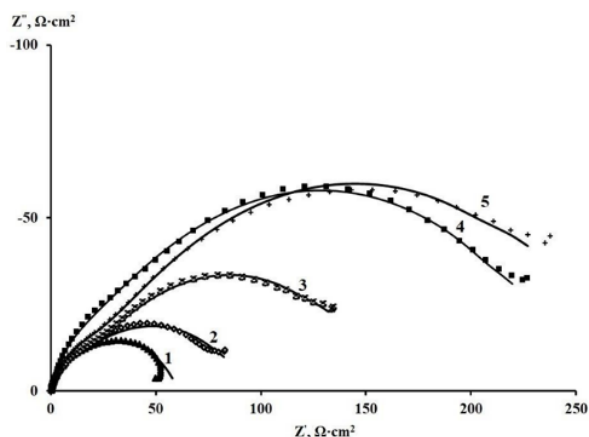


Рис. 3. Диаграмма Найквиста для стального электрода в 1 Н растворе HCl при потенциале коррозии в отсутствие (1) и в присутствии Омепразола, мг/л: 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30; 5 – 40.

По мере увеличения концентрации ингибитора происходит уменьшение емкости двойного электрического слоя  $C_{dl}$ . Это указывает на адсорбцию ингибитора на поверхности электрода.

Таблица 1

Численные значения элементов эквивалентной схемы при  $E_{кор}$  стального электрода в 1 Н растворе HCl

Параметр	Омепразол, мг/л				
	Фон	10	20	30	40
$R_s, \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$	0,49	0,49	0,47	1,00	0,49
$C_{dl}, \text{ мкФ}/\text{см}^2$	100,55	56,07	34,61	19,20	20,68
$R_1, \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$	60,41	93,98	158,70	250,50	276,00
$R_2, \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$	14,39	10,13	16,47	22,91	21,00
$C_a, \text{ мкФ}/\text{см}^2$	39,1	21,05	19,77	10,07	10,88
$Z(d)-R, \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$	2968	1524	1100	8879	2758
$Z(d)-P$	0,59	0,50	0,54	0,56	0,54
$Z(d)-T, \text{ с}$	33,92	31,62	23,28	12,01	22,19
$R_a, \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$	8,70	17,34	20,69	8,85	32,19

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют о том, что в роли ингибитора коррозии в кислых средах по отношению к углеродистой стали возможно использование Омепразола с истекшим сроком годности.

## СЕЛЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОФИЛЬНОГО ФТОРИРОВАНИЯ МОНОЗАМЕЩЕННЫХ БЕНЗОЛА КАК ФУНКЦИЯ АТОМНОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕАКЦИОННОГО ЦЕНТРА

*Вирзум Л.В.<sup>1</sup>, Крылов Е.Н.<sup>2</sup>, Ильина А.Ю.<sup>1</sup>, Шаповалова Т.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет», г. Иваново, РФ

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет», г. Иваново, РФ  
*enk2000S@yandex.ru*

**Введение и теоретическое обоснование.** Реакции электрофильного ароматического замещения в соответствии со схемой (1) протекают как правило через образование интермедиата –  $\sigma$ -комплекса, стадия образования которого обычно определяет скорость реакции и структура которого может включать в себя одну или несколько молекул растворителя, в связи с чем эта структура может быть циклической [1].



Поэтому до сих пор для описания таких реакций успешно используется приближение изолированной молекулы [2], когда параметры субстрата могут характеризовать селективность процесса. В частности, таким параметром является молекулярный электростатический потенциал на атомах углерода бензольного кольца, которые являются реакционными центрами при электрофильном замещении протона ( $V_{\text{esp}}$ ) [3], называемый также атомный электростатический потенциал (АЭП).

**Экспериментальная часть.** В качестве базисной реакционной серии взята реакция электрофильного фторирования монозамещенных бензола XPh элементарным фтором в смеси с азотом (для снижения агрессивности реагента) при  $-78^\circ\text{C}$  в среде  $\text{CCl}_3\text{F}$  [4]. Расчет структур монозамещенных бензола проведен программным комплексом ADF 2014 [5] на уровне теории DFT M06/6-311++G\*\* с учетом влияния растворителя на уровне неспецифической сольватации в рамках метода SMD (Solvent Model based on Density) [6]. ( $\epsilon = 4$  при  $25^\circ$ ).

Расчет зарядов (табл. 1) проведён в схеме разделения зарядов Хиршфельда. Функционал M06 [7] достаточно хорошо и обширно параметризован и рекомендован для различных групп соединений и функциональных групп. Атомный электростатический потенциал на реакционных центрах (*мета*- и *пара*-положений в XPh) определён в соответствии с теоретическими представлениями [3] (табл. 1)

Таблица 1

## Квантово-химические параметры монозамещенных бензола XPh

X	Vesp(m)	Vesp(p)	E(HOMO)	E(LUMO)	Fm [4]	Fp [4]
Me	-14.778265 -14.778011	-14.780721	-0.25613	-0.03449	1.55	8.2
NO <sub>2</sub>	-14.735444 -14.735443	-14.730828	-0.29468	-0.09692	0.041	0.011
MeO	-14.776381 -14.773136	-14.783727	-0.23867	-0.03601	0.81	76.1
F	-14.757094 -14.757094	-14.763506	-0.26807	-0.03461	0.16	1.56
Cl	-14.756249 -14.756249	-14.759424	-0.26422	-0.03573	0.077	0.44
CF <sub>3</sub>	-14.748816 -14.748986	-14.746982	-0.28596	-0.03747	0.058	0.036
Br	-14.756529 -14.756529	-14.758959	-0.26127	-0.03590	0.061	9.43
CN	-14.739829 -14.739829	-14.736312	-0.28604	-0.05641	0.041	0.017

**Примечание:** Vesp – АЭП на реакционном центре – атоме углерода бензольного кольца, указаны два значения, если два *мета*-положения различаются по данному параметру, а. у., E - энергия ВЗМО и НСМО, Hartree, F - факторы парциальных скоростей *мета*- и *пара*-замещения, безразмерная единица. m- и p – условные обозначения для *мета*- и *пара*-положений.

Таблица 2

## Реакционная способность XPh как функция АЭП реакционных центров

X	logFm	logFp	Vesp(m)	Vesp(p)
Me	0.1903	0.9138	-14.778265	-14.780721
NO <sub>2</sub>	-1.3872	-1.9586	-14.735444	-14.730828
MeO	-0.0915	1.8814	-14.776381	-14.783727
F	-0.7959	0.1931	-14.757094	-14.763506
Cl	-1.1135	-0.3565	-14.756249	-14.759424
CF <sub>3</sub>	-1.2366	-1.4437	-14.748816	-14.746982
Br	-1.2147	0.9745	-14.756529	-14.758959
CN	-1.3872	-1.7696	-14.739829	-14.736312

Несмотря на разделение общей реакционной серии по меньшей мере на две локальных – для *мета*- и *пара*-замещения - как это иллюстрирует соотношение (2), тем не менее общая тенденция вполне отчетлива видна - чем более отрицателен атомный электростатический потенциал на реакционном центре – *мета*- и *пара*-положениях замещённого бензола – тем больше фактор парциальной скорости по данному реакционному центру, что согласуется с физическим смыслом параметра АЭП. Это подтверждают достаточно высокие коэффициенты отдельных линейных корреляций и **крайне малые** значения статистического параметра R, который количественно характеризует вероятность **случайного** появления линейной корреляции.

$$\log F(m,p) = (-853.06979 \pm 131.69273) - (57.77209 \pm 8.92419) * V_{\text{esp}}(m,p),$$

$$R = -0.866, SD = 0.578, N = 16, P < 0.0001 \quad (2)$$

$$\log F_p = (-1031.33102 \pm 161.90599) - (69.87168 \pm 10.97105) * V_{\text{esp},p},$$

$$R = -0.933, SD = 0.553, N = 8, P = 7.04 * 10^{-4} \quad (3)$$

$$\log F_m = (-546.50519 \pm 85.10525) - (36.97634 \pm 5.76747) * V_{\text{esp},m},$$

$$R = -0.934, SD = 0.234, N = 8, P = 6.79 * 10^{-4} \quad (4)$$

Однако сопоставление чувствительности ориентации к изменению электростатического потенциала реакционного центра, количественно выражаемой коэффициентом при переменной  $V_{\text{esp}}$  в соотношениях (3) и (4), показывает, что *мета*-ориентация электрофила меньше ощущает изменение  $V_{\text{esp}}$  (**-36.98**), чем *пара*-ориентация (**-69.87**), хотя должна была бы наблюдаться противоположная картина из-за затруднения *мета*-ориентации сравнительно с более активной *пара*-ориентацией.

Как известно, чем более затруднена реакция, тем сильнее должно быть влияние фактора активации, каким является АЭП. Вероятно, этот эффект вызван температурой реакции в области явно ниже изокINETической, либо несоблюдением принципа линейности свободных энергий при сочетании кинетических (F) и термодинамических ( $V_{\text{esp}}$ ) параметров.

Таким образом, атомный электростатический потенциал реакционного центра в целом определяет субстратную и позиционную селективность реакции электрофильного фторирования монозамещенных бензола.

### Список литературы

- Galabov B., Ilieva S, Cheshmedzhieva D., Nikolova V., Popov V.A., Hadjieva B, Schaefer H.F.III, Mini-Review on Structure–Reactivity Relationship for Aromatic Molecules: Recent Advances. // ACS Omega. 2022. Vol. 7. P. 8199–8208,
- Заградник Р., Полак Р. Основы квантовой химии. – М. МИР. 1979. – 504 с.
- Politzer P., Murray J. S. Molecular electrostatic potentials. Some observations // Concepts and methods in modern theoretical chemistry. // ed. by S. K. Ghosh, P. K. Chattaraj. New York : CRC Press, 2013. P. 181–199.
- Cacace F., Giacomello P., Wolf A.P. // J. Am. Chem. Soc. – 1980. – Vol. 102. – N 10. – P. 3511–3515.
- Baerends E. J., et al. ADF2014. SCM. Theoretical Chemistry. Vrije Universiteit. Amsterdam. The Netherlands. 2014. URL: <http://www.scm.com>. (дата обращения: 12.10.2023).
- Marenich A.V., Cramer C.J. Truhlar D.G. // J. Phys. Chem. B. – 2009. – Vol. 113. N 18. – P. 6378–6396.
- Zhao Y. Truhlar D. // Theor. Chem. Acc. – 2008. – Vol. 120. Iss. 1. – P. 215–241.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИНОРБОРНЕНА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ, ДИНАМИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ ДЛЯ ПОДРЕЛЬСОВЫХ ПРОКЛАДОК

*Егоров Е.Н.<sup>1</sup>*, канд. хим. наук, доц.,  
*Саломатина Е.В.<sup>2</sup>*, канд. хим. наук, доц.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»,  
г. Чебоксары, РФ

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный  
университет имени Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, РФ  
*enegorov@mail.ru*

Железные дороги создают повышенный уровень вибрации и шума в процессе эксплуатации. Шум, возникающий при работе железнодорожного транспорта, оказывает негативное влияние на здоровье человека. Для решения этой проблемы используются резиновые подрельсовые прокладки [1-3], которые изготавливаются с применением функциональных ингредиентов, позволяющих повысить вибродемпфирующие (шумопоглощающие) свойства резины. Одним из таких функциональных ингредиентов является полинорборнен (ПНБ) [4, 5]. В связи с этим целью работы являлось изучение влияния ПНБ на реометрические (вулканизационные) показатели резиновой смеси, физико-механические, динамические и эксплуатационные свойства резины на основе комбинации *цис*-изопренового СКИ-3, бутадиен-метилстирольного СКМС-30АРК и бутадиен-нитрильного СКН 2655 каучуков.

Резиновая смесь на основе данных каучуков включала вулканизирующие агенты – серу, N,N'-дитиодиморфолин; ускорители вулканизации – тетраметилтиурамдисульфид, N-циклогексил-2-бензотиазолсульфенамид; активаторы вулканизации – оксид цинка, стеариновую кислоту; противостарители – ацетонанил N, N-изопропил-N'-фенил-*пара*-фенилендиамин, воск ЗВ-П; наполнители – технический углерод N 220 и П 514, диоксид кремния марки Zeosil 1165 MP, каолин; замедлитель подвулканизации – N-нитрозодифениламин и другие ингредиенты. Изучаемый ПНБ марки Norsorex NS представлял собой мелкозернистый порошок белого цвета с размером частиц 300-400 мкм. Для улучшения технологической совместимости ПНБ с каучуковой матрицей была разработана каучукоподобная композиция ПНБ с пластификатором Norman 747 LV (композиция КН) при массовом соотношении ПНБ : Norman 747 LV = 1,0:1,5. Первый вариант резиновой смеси не содержал композицию КН, а второй – пятый варианты смеси готовились с использованием КН в количествах 15,0; 30,0; 45,0 и 60,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучуков. Резиновая смесь изготавливалась на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160 при

максимально одинаковых условиях: температуре поверхности валков вальцов (60-70 °С), цикле смешения (25 мин).

Вулканизационные (реометрические) свойства резиновой смеси исследовали на реометре MDR 3000 Basic при температуре 143 °С в течение 40 мин. Стандартные образцы исследуемых вариантов резиновой смеси для определения физико-механических показателей вулканизовали в вулканизационном прессе типа P-V-100-3RT-2-PCD при температуре 143 °С в течение 20 мин. Физико-механические и эксплуатационные свойства вулканизатов исследовались согласно действующим в резиновой промышленности стандартам. Динамические свойства (модуль упругости  $E'$ , тангенс угла механических потерь  $tg\delta$ ) вулканизатов (образцов с размерами 30×10×2 мм) изучались на динамическом механическом анализаторе DMA 242 E Artemis фирмы Netzsch в интервале температур от –90 до 90 °С при скорости нагрева 2 °С/мин, частоте колебаний 1 Гц в режиме деформации «трехточечный изгиб».

Результаты исследования реометрических свойств свидетельствуют, что при увеличении содержания КН в резиновой смеси наблюдается уменьшение показателей максимального и минимального крутящих моментов по сравнению с первым вариантом смеси. Это, по-видимому, связано с увеличением количества пластификатора Norman 747 LV, содержащегося в КН. При этом наблюдается возрастание времен начала и оптимума вулканизации резиновой смеси, включающей КН, что способствует улучшению ее технологических свойств.

Показано, что вулканизаты, содержащие КН, обладают меньшими значениями условного напряжения при 100%-ном растяжении, условной прочности при растяжении, твердости и сопротивления раздиру по сравнению с вулканизатом первого варианта резиновой смеси. Это, вероятно, обусловлено тем, что пластификатор Norman 747 LV будет сорбироваться на наполнителе и экранировать его поверхность от взаимодействия с макромолекулами каучуков. При этом происходит возрастание показателей относительного удлинения при разрыве, относительной остаточной статической деформации после сжатия (ОДС) и истираемости вулканизатов. Это связано с уменьшением вязкости резиновой смеси при увеличении содержания в ней КС, а, значит, и концентрации пластификатора в ней. Уменьшение вязкости резиновой смеси способствует увеличению сегментальной подвижности макромолекул каучуков, что приводит к возрастанию относительного удлинения при разрыве, ОДС и истираемости резины.

Исследование эксплуатационных свойств резин основывается на изучении их стойкости к воздействию агрессивных сред. Нами исследовались изменения упруго-прочностных свойств вулканизатов после термического старения в воздухе и воздействия стандартной нефтяной жидкости СЖР-1 при температуре 100 °С в течение 24 ч, а также массы резины после суточной экспозиции в масле индустриальном И-20А, стандартной нефтяной жидкости СЖР-3 и воде при температуре 23 °С. Увеличение содержания КН, а,



следовательно, и ПНБ, в резиновой смеси приводит к уменьшению изменений упруго-прочностных свойств вулканизатов после суточного старения в воздухе и выдержки в СЖР-1 и их массы после воздействия масла индустриального И-20А, СЖР-3 и воды. Наименьшими изменениями этих свойств характеризуется вулканизат пятого варианта, что свидетельствует об ее устойчивости и ее потенциальном применении в качестве подрельсовых прокладок.

Результаты исследования динамических свойств показывают, что увеличение содержания КН, а, следовательно, и ПНБ в резиновой смеси способствует уменьшению модуля упругости вулканизата в стеклообразном состоянии. Причем, вулканизат пятого варианта обладает наименьшим значением  $E'$  во всем температурном интервале измерений. С повышением  $tg\delta$  резин увеличиваются их звукопоглощающие (вибродемпфирующие) свойства. Наибольшим значением  $tg\delta$  и наименьшей величиной  $E'$ , а, следовательно, лучшими вибропоглощающими свойствами обладает вулканизат пятого варианта резиновой смеси.

Установлено, что резина, содержащая композицию ПНБ с Norman 747 LV в количестве 60,0 мас. ч., обладает стабильными физико-механическими, улучшенными эксплуатационными и хорошими вибропоглощающими (вибродемпфирующими) свойствами.

#### Список литературы

1. Егоров, Е. Н. Исследование влияния кремнекислотного наполнителя Silica 1165 на свойства резины для прокладок рельсовых скреплений / Е. Н. Егоров, Н. Ф. Ушмарин, С. И. Сандалов, В. С. Григорьев, Н. И. Кольцов, В. Д. Ворончихин // Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Химия. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 110–117. – DOI: 10.17516/1998-2836-0276.
2. Егоров, Е. Н. Исследование влияния *транс*-полинонборнена на свойства резиновой смеси для рельсовых прокладок / Е. Н. Егоров, Н. Ф. Ушмарин, С. И. Сандалов, Н. И. Кольцов // Материаловедение. – 2021. – № 12. – С. 11–16. DOI: 10.31044/1684-579X-2021-0-12-11-16.
3. Егоров, Е. Н. Разработка и исследование резиновой смеси для прокладок рельсовых скреплений / Е. Н. Егоров, Н. Ф. Ушмарин, С. И. Сандалов, Н. И. Кольцов // Российский химический журнал. – 2021. – Т. 65, № 1. – С. 56–61. DOI: 10.6060/rcj.2021651.6.
4. Егоров, Е. Н. Исследование динамических свойств стойкой к морской воде резины / Е. Н. Егоров, Н. Ф. Ушмарин, С. И. Сандалов, Н. И. Кольцов, В. Д. Ворончихин // Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Химия. – 2021. – Т. 14, № 1. – С. 38–44. DOI: 10.17516/1998-2836-0214.
5. Егоров, Е.Н. Исследование эксплуатационных и динамических свойств резины для изделий, работающих в морской воде / Е.Н. Егоров, Н.Ф. Ушмарин, С.И. Сандалов, Н.И. Кольцов // Известия высших учебных заведений. Сер.: Химия и химическая технология. – 2020. – Т. 63, № 11. – С. 96–102. DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6307.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕТУЧЕГО ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ ИФХАН-114 ПО ОТНОШЕНИЮ К СТАЛИ В АТМОСФЕРЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

*Жерновников Д.Н.<sup>1</sup>, Дорохов А.В.<sup>1</sup>, канд. хим. наук  
Курьято Н.А.<sup>1</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 им. Г.Р. Державина», г. Тамбов, РФ

*diman096@gmail.com*

**Введение.** Среди всех конструкционных металлических материалов стали и сплавы на основе железа являются наиболее распространёнными материалами, широкое применение которых обусловлено сочетанием хороших технологических и высоких прочностных свойств. Однако незащищённые стали и чугуны подвергаются сильной коррозии. С целью противокоррозионной защиты возможно применение летучих ингибиторов коррозии (ЛИК). Они, испаряясь, адсорбируются на поверхности металла, создавая защитную пленку. Но их использование возможно при полной или хотя бы частичной герметизации защищаемого пространства.

**Целью** нашей работы является изучение эффективности летучего ингибитора коррозии ИФХАН-114 в атмосфере со 100%-й влажностью, а также дополнительно содержащей стимуляторы коррозии ( $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$ ).

**Основная часть.** Коррозионные испытания проводили в замкнутом пространстве в герметичных эксикаторах при 20 °С 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> [1].

Рассчитав потерю массы стальных образцов, рассчитывали скорость коррозии ( $K$ ) по формуле:

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau},$$

где  $\Delta m$  – потеря массы образца, г;  $S$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – длительность испытаний, ч.

Защитное действие определяли по формуле:

$$Z = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \cdot 100 \%,$$

где  $K_0$ ,  $K_1$  – скорости коррозии образцов из стали в неингибированной и ингибированной средах.

Коррозионные испытания проводились при 100 %-й влажности, а также дополнительно вводились стимуляторы коррозии. Длительность испытаний 240 ч (таблица 1). В атмосфере, содержащей  $CO_2$  и  $NH_3$

скорость коррозии стали снижается  $\approx$  в 7 раз при введении ингибитора, а защитный эффект его составляет 86 %. Аналогичная картина наблюдается и в среде  $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{S}$  ( $Z = 83$  %).

Таблица

Результаты гравиметрических испытаний стали Ст3 в отсутствии / присутствии  
ЛИК ИФХАН-114. Время экспозиции 10 суток

Атмосфера со 100%-й влажностью воздуха, дополнительно содержащая $\text{CO}_2$ и $\text{NH}_3$	
K, (г/м <sup>2</sup> ·ч)	Z, %
0.0089 / 0.0012	- / 86
Атмосфера со 100%-й влажностью воздуха, дополнительно содержащая $\text{CO}_2$ , $\text{NH}_3$ , $\text{H}_2\text{S}$	
K, (г/м <sup>2</sup> ·ч)	Z, %
0.035 / 0.002	- / 94
Атмосфера со 100%-й влажностью воздуха, дополнительно содержащая $\text{CO}_2$ и $\text{H}_2\text{S}$	
K, (г/м <sup>2</sup> ·ч)	Z, %
0.073 / 0.004	- / 94
Атмосфера со 100%-й влажностью воздуха, дополнительно содержащая $\text{NH}_3$ и $\text{H}_2\text{S}$	
K, (г/м <sup>2</sup> ·ч)	Z, %
0.030 / 0.0051	- / 83

Что касается атмосферы, содержащей  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ , то эффективность ингибитора в этих условиях возрастает и составляет 94 %. Эффективная защита наблюдается и в атмосфере, содержащей все три стимулятора коррозии  $\approx$  94 % (таблица 1).

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют о том, что в исследуемых условиях использование ЛИК ИФХАН-114 оказалось достаточно эффективно, а действие существенно зависит от природы стимуляторов коррозии.

### Список литературы

1. 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.

## ПРОВЕДЕНИЕ СОПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУТИЛМЕТАКРИЛАТА С 3-МЕТОКСИПРОПИЛАМИДОМ МАЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ

*Иванова Е.С.*

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова»

г. Чебоксары, РФ

*ivanovakatyia06082002@gmail.com*

**Введение.** В настоящее время бутилметакрилат и его сополимеры находят широкое применение в клеевых составах, лакокрасочных покрытиях, благодаря своей прозрачности, хорошим плёнкообразующим свойствам, высокой адгезии к различным подложкам, повышенной био- и атмосферостойкости.

**Цель** исследования заключается в синтезе сополимера бутилметакрилата и 3-метоксипропиламида малеиновой кислоты.

**Основная часть.** Бутилметакрилат – сложный эфир метакриловой кислоты. По внешнему виду выглядит как прозрачная жидкость без цвета, но бутилметакрилат обладает выраженным неприятным запахом. Он нерастворим в воде, но растворяется в различных органических растворителях. Является мономером, используемым в производстве пластиков, клеев и покрытий [1].

Широко используется в синтезе полимеров и сополимеров. Химические свойства бутилметакрилата обусловлены присутствием в молекуле двух ключевых функций – сложноэфирной группы и двойной связи.

Бутилметакрилат образует гомополимеры и сополимеры, которые могут быть получены с акриловой кислотой и ее солями, амидами и сложными эфирами, а также с метакрилатами, акрилонитрилом, малеиновыми эфирами, бутадиеном и другими мономерами.

Бутилметакрилат является хорошим сырьём при получении клеевых составов, композиций для стоматологии, добавок к смазочным маслам, применяется в производстве полибутилметакрилатной пленки, для приготовления клеющих лаков, амидосодержащих смол [2].

Бутилметакрилат обладает хорошей адгезией к различным поверхностям и быстро полимеризуется при участии соответствующих катализаторов и условиях. Эти свойства делают его популярным компонентом в производстве акриловых смол, клеев, покрытий, лаков, прозрачных пластиковых изделий и других материалов.

Он обладает рядом полезных свойств, таких как прозрачность, хорошая устойчивость к химическим воздействиям и долговечность.

Сополимеры бутилметакрилата представляют собой полимеры, получаемые путем комбинирования бутилметакрилата с другими

мономерами в процессе полимеризации. Это позволяет изменять свойства и характеристики конечного полимерного материала [3].

Сополимеры бутилметакрилата могут использоваться в различных областях, включая производство пленок, клеев, покрытий и других материалов, где требуются определенные комбинации свойств [4]. Например, сополимер бутилметакрилата с метакриловой кислотой может использоваться в различных областях, таких как биомедицинская техника (например, для создания биосовместимых материалов), производство клеев и покрытий, а также для создания материалов с определенными адгезионными и химическими свойствами.

Сополимеризация – это процесс соединения двух или более полимеров путем их химической реакции. В результате этой реакции образуются новые химические связи между молекулами полимеров, что приводит к образованию новых материалов с уникальными свойствами и структурой [5].

3-метоксипропиламид малеиновой кислоты – это химическое соединение, которое образуется в результате реакции амидирования малеиновой кислоты с 3-метоксипропиламином. Это соединение может иметь различные химические и биологические применения.

Оно может использоваться в химических синтезах, медицинских исследованиях или как реагент в органической химии для создания сложных органических молекул. Точные свойства и применения этого соединения могут зависеть от контекста и целей исследования или производства.

Применение сополимера бутилметакрилата с 3-метоксиамидом малеиновой кислоты включает создание различных продуктов, таких как лаки, краски, медицинские изделия, автомобильные детали, архитектурные элементы и промышленные покрытия. Эти продукты обладают хорошей адгезией к различным материалам и имеют высокую прочность при растяжении.

Сополимер бутилметакрилата и 3-метоксипропиламидом малеиновой кислоты получали с помощью полимеризации в массе и в растворе в присутствии инициатора радикальной полимеризации. Для сополимеризации в растворе подобрали подходящий растворитель – бензол.

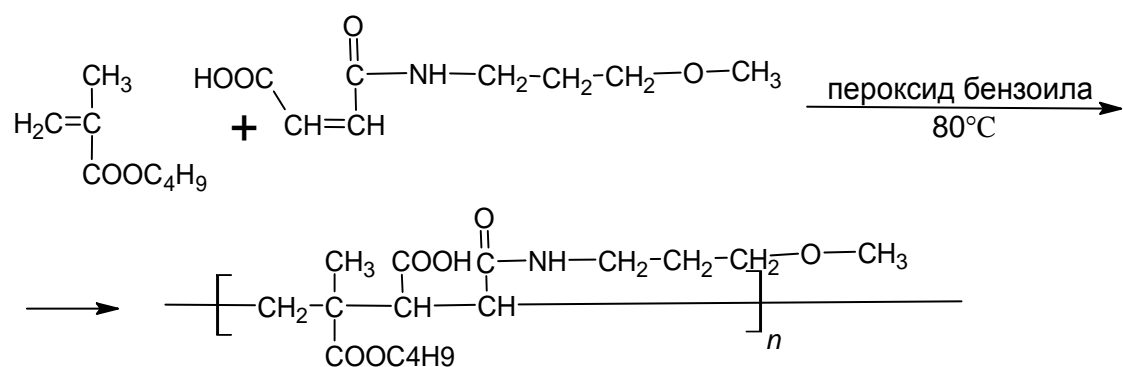


Схема сополимеризации бутилметакрилата с 3-метоксипропиламидом малеиновой кислоты

Соотношение исходных мономеров при проведении процесса составляет 1:1. В качестве инициатора использовали пероксид бензоила. Полимеризацию проводили при 80 °С в течение 6 ч. Полученный сополимер высушили. Затем проверили растворимость сополимера в различных органических растворителях.

**Заключение.** Проведён синтез сополимера бутилметакрилата и 3-метоксипропиламидом малеиновой кислоты. Проверена растворимость полученного сополимера в растворителях. Итак, сополимер хорошо растворяется в хлороформе, ацетоне и этилацетате.

### Список литературы

1. Никольский, Б.П. Справочник химика. Том 6. Сырье и продукты промышленности органических веществ / Б.П. Никольский. – Москва: Химия, 1967. – 506 с.
2. Маслов, К.И. Применение синтетических материалов в реставрации монументальной живописи / К.И. Маслов, Е.П. Мельникова. – М.; СПб: ГосНИИР, 2000 – 120 с.
3. Нейн, Ю. И. Химия и технология высокомолекулярных соединений : учеб.- метод. пособие / Ю. И. Нейн, О. С. Ельцов, М. Ф. Костерина ; [науч. ред. Т. В. Глухарева] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 116 с. ISBN 978-5-7996-2399-9
4. Синтетические полимеры и их применение в реставрации. — Текст : электронный // Искусствоед.ру – сетевой ресурс об искусстве и культуре : [сайт]. – 2019. – URL: [https://iskusstvoed.ru/2019/08/09/sinteticheskie\\_polimery\\_v\\_restavracii/](https://iskusstvoed.ru/2019/08/09/sinteticheskie_polimery_v_restavracii/) (дата обращения: 22.09.2023)
5. Дерябина, Г.И. Сополимеризация [Текст] : учебное пособие : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Фундаментальная и прикладная химия" / Г. И. Дерябина ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Самарский гос. ун-т", Каф. органической, биоорганической и мед. химии. – Самара : Самарский университет, 2013. – 47 с. : ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-86465-593-1

## КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ГАЗОФАЗНЫХ РЕАКЦИЙ ФЕНИЛАЦЕТАТА С ДИПЕПТИДАМИ

*Кочетова Л.Б.*, д-р хим. наук, доц.,

*Кустова Т.П.*, д-р хим. наук, проф.,

*Бондарь В.В., Туманов В.А.*

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет», г. Иваново, РФ

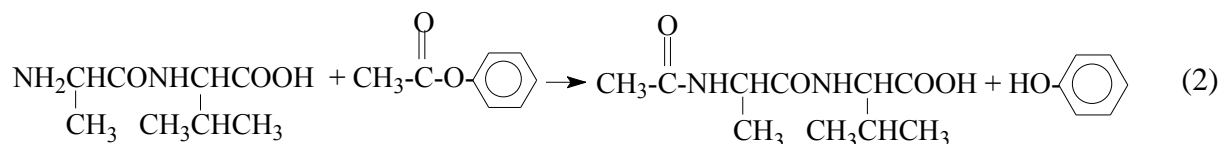
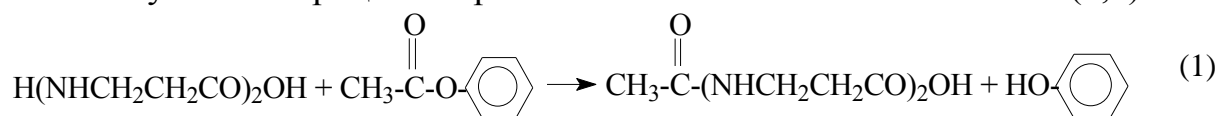
*kochetova\_lb@mail.ru*

В течение ряда лет нами ведутся исследования кинетики и механизмов реакций ацилирования аминоксоединений разных классов производными карбоновых и сульфоновых кислот в рамках комплексного подхода, предполагающего сочетание кинетического эксперимента с квантово-химическим моделированием маршрута реакции. В продолжение исследований, проводившихся ранее, в настоящей работе нами выполнено квантово-химическое моделирование механизмов газофазных реакций фенилового эфира уксусной кислоты (фенилацетата, ФА) с двумя дипептидами:  $\beta$ -аланил- $\beta$ -аланином и  $\alpha$ -аланил- $\alpha$ -валином.

Следует отметить, что механизмы реакций дипептидов со сложными эфирами ранее практически не изучались, тогда как они хорошо изучены для реакций карбонильных ацилирующих агентов с аминоксоединениями других классов. В этих процессах в качестве наиболее вероятных рассматриваются бимолекулярный согласованный механизм нуклеофильного замещения и стадийный механизм присоединения-отщепления, неразличимые кинетически.

Моделирование проводили путем построения трехмерных потенциальных поверхностей реакций (ППЭ). Расчеты проводились методом RHF/6-31G(d) в рамках программного пакета Firefly 7.1G [1].

Изучаемые процессы протекают в соответствии со схемами (1,2):



При построении ППЭ нами варьировались две внутренние координаты системы, наиболее изменяющиеся в ходе процесса: расстояние между атомами карбонильного углерода молекулы сложного эфира и азота первичной аминогруппы дипептида, образующими амидную связь в продукте реакции  $-\text{r}(\text{C-N})$ , и угол нуклеофильной атаки молекулы дипептида на карбонильный реакционный центр ( $\angle\text{NCC}$ ). Расстояние C-N

изменяли от 4.0 до 1.0 Å с шагом 0.1 Å, а угол NCC – от 90 до 180° с шагом 10°. В каждой точке потенциальной поверхности указанные координаты фиксировали и проводили оптимизацию геометрии системы.

Контурные карты рассчитанных ППЭ представлены на рис. 1.

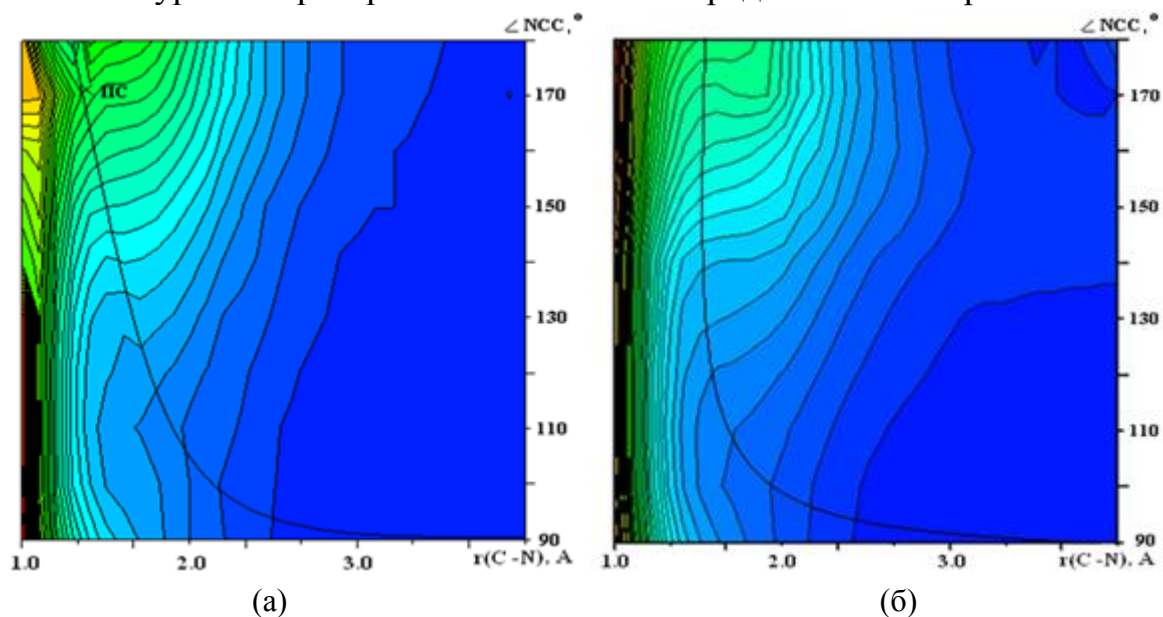


Рис. 1 ППЭ реакций ФА с  $\beta$ -аланил- $\beta$ -аланином (а),  $\alpha$ -аланил- $\alpha$ -валином (б) в газовой фазе.

Из данных рис. 1 видно, что на ППЭ каждого из изученных процессов присутствует единственный путь минимальной энергии, при этом на ППЭ реакции ФА с  $\beta$ -аланил- $\beta$ -аланином указанный путь ведет от реагентов через единственную седловую точку, соответствующую переходному состоянию реакции, к продуктам, тогда как на ППЭ реакции ФА с  $\alpha$ -аланил- $\alpha$ -валином на пути реакции отсутствуют минимумы и максимумы. Найденный путь минимальной энергии на обеих ППЭ начинается аксиальной  $\pi$ -атакой молекулы дипептида под углом  $\angle NCC = 90^\circ$  к карбоксильной группе. По мере сближения молекул реагентов угол атаки нуклеофила сильно увеличивается. Однако, если, в случае первой реакции, результатом реализации указанного маршрута является образование продуктов, то во втором процессе путь минимальной энергии к образованию продуктов не приводит. Полученная для второго процесса форма ППЭ позволяет предположить, что образование продуктов реакции, может происходить при углах атаки нуклеофила, больших, чем  $180^\circ$ .

Форма ППЭ реакции ФА с  $\beta$ -аланил- $\beta$ -аланином имеет единственную седловую точку на единственном пути минимальной энергии, ведущем в минимум, соответствующий продуктам. Минимумы, соответствующие интермедиатам, на ППЭ отсутствуют. Это указывает на одностадийное протекание процесса в соответствии с механизмом  $S_N2$ .

Структура активированного комплекса (АК) реакции ФА с  $\beta$ -аланил- $\beta$ -аланином была рассчитана с помощью процедуры SADPOINT. Результаты расчета и нумерация атомов в молекулах реагентов представлены на рис. 2.



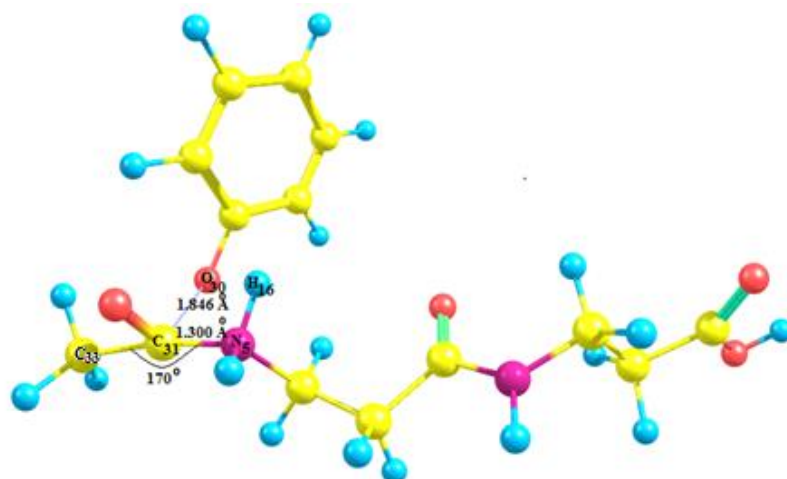


Рис. 2. Структура АК реакции  $\beta$ -аланил- $\beta$ -аланина с ФА в газовой фазе.

Конфигурация карбонильного реакционного центра в АК реакции  $\beta$ -аланил- $\beta$ -аланина с ФА далека от тетраэдрической: об этом свидетельствует величина валентного угла  $N_5C_{31}C_{33}$  ( $170^\circ$ ). Связь  $C_{31}-N_5$  в АК уже практически образовалась, ее порядок составляет 0,9, и разрыхление связи  $C_{31}-O_{30}$  отстает от образования амидной связи (порядок связи  $C_{31}-O_{30}$  равен 0.39). Этот факт, вместе с суммой порядков указанных связей, несколько превышающей единицу, указывает на образование в реакции «сжатого» ПС, что характерно для реакций, протекающих по механизму  $S_N2$ .

Значение энергии активации реакции  $\beta$ -аланил- $\beta$ -аланина с ФА, рассчитанное как разница в полных энергиях реагентов и переходного состояния реакции, крайне высоко – 622 кДж/моль, что может быть связано с тем, что моделирование проводили в газовой фазе без учета влияния сольватации. В то же время, указанное значение сильно превышает энергию активации газофазной реакции  $\beta$ -аланил- $\beta$ -аланина с 3-нитробензолсульфонилхлоридом ( $\approx 71$  кДж/моль) [2], рассчитанную ранее, что согласуется с более высокими скоростями реакций сульфонилирования аминокислот и дипептидов по сравнению с реакциями их ацилирования сложными эфирами.

### Список литературы

1. Granovsky, A. A. Firefly version 7.1.G. www <http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html>.
2. Кочетова Л.Б., Кустова Т.П., Троицкая У.В., Бондарь В.В. Квантово-химическое моделирование механизмов ацилирования дипептидов на основе  $\alpha$ - и  $\beta$ -аланинов в газовой фазе. Бултеровские сообщения А. – 2023. – Т.5. – №.2. – С.14–23. DOI: 10.37952/ROI-jbc-RA/23-5-2-9.

## ТЕНДЕНЦИИ В ХИМИИ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ: ПРОИЗВОДСТВО И МОДИФИКАЦИЯ

**Кравченко В.В., Алемасова Н.В.**, канд. хим. наук  
ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»,  
г. Донецк, РФ  
*alemasova.nv@gmail.com*

Развитие промышленного производства и ужесточение экологических требований повышает спрос на высокоэффективные и недорогие сорбенты. Активированные угли (АУ) обладают высоким потенциалом в удалении различных загрязнений из воздуха, воды и почвы, являются экономически выгодным материалом. Успешность их применения для адсорбции различных веществ в основном зависит от химии их поверхности и структуры пор. На пористую структуру и функционализацию поверхности АУ прежде всего влияют природа исходного сырья, методы активации и модификации. Целью представленной работы является освещение современных тенденций в химии АУ, в частности процессов его производства и модификации.

Динамика роста числа публикаций по данным базы литературных источников ScienceDirect по теме приведена на рис. 1.

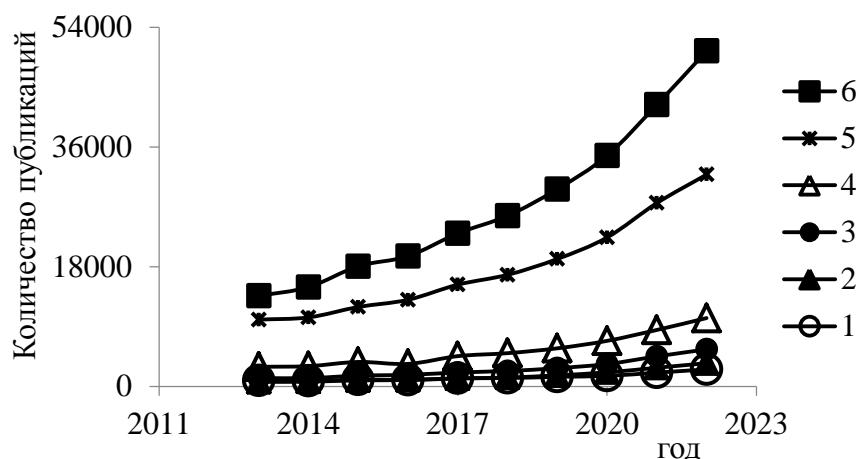


Рис. 1. Количество научных публикаций посвященных АУ в базе данных ScienceDirect: 1 – запрос «activation coal alkaline»; 2 – запрос «activation coal steam»; 3 – запрос «activation coal waste»; 4 – запрос «activation coal»; 5 – запрос «modification activated carbon»; 6 – запрос «functionalization activated carbon».

Видно, что несмотря на то, что этому направлению уже более 100 лет, интерес не угасает, но в основном это касается уже не исследования процесса активации, а модификации и функционализации АУ (рис. 1, кривые 5, 6). Традиционно производство АУ, осуществляется двумя методами активации: физическим (парогазовым) и химическим, либо

комбинацией этих методов (рис. 1 кривые 1, 2). Возрастает интерес к применению АУ для устранения и нейтрализации отходов, либо же к производству АУ из отходов, например, из автомобильных покрышек, жмыха сельскохозяйственных культур, отходов животного производства и отходов аквакультур (рис. 1 кривая 3).

Ключевыми факторами оптимального синтеза АУ являются предшественники углерода, пути активации, активирующие агенты и параметры процесса активации [1]. В работе [2] приводится краткое изложение недавних исследований, освещающих разработку активирующих агентов для производства АУ. Систематически обобщены механизмы образования пор различными активирующими агентами: щелочными, кислотными, нейтральными и самоактивирующими агентами. Причем последнее направление – с использованием самоактивирующихся агентов – привлекает все большее внимание исследователей, т.к. это поможет упростить процедуру, легче масштабировать процесс, снизить стоимость и риск экологических последствий. В качестве таких агентов могут выступать соли органических кислот, специальные компоненты в некоторых предшественниках углерода (например, металл-органические каркасные структуры и выделяющиеся *in situ* в процессе активации газы пиролиза) [2].

В качестве альтернативного способа нагрева при производстве АУ внимание исследователей привлекает микроволновый нагрев [3]. Такой подход позволяет регулировать формирование пор нужного размера, изменять соотношение кислотных и основных групп на поверхности АУ. Также для улучшения сорбционных свойств АУ применяют нетермическую плазменную технологию [3], позволяющую модифицировать поверхность сорбента, увеличивая количество кислотных функциональных групп.

Интересным и перспективным с точки зрения получаемых свойств являются АУ, допированные азотом. Такие сорбенты представляют собой новый тип углеродных материалов, которые демонстрируют отличные характеристики при накоплении электроэнергии, в катализе и селективной адсорбции  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$  [4]. Для их получения активацию проводят в среде аммиака. В результате в углеродную матрицу вводится пиридиновый, пиррольный, четвертичный азот и аминогруппы. Другими путями введения азота в структуру АУ является добавление на стадии карбонизации азотсодержащих веществ (например, мочевины или меламина) либо использование в качестве предшественника углерода азотсодержащих полимеров (например, полианилина) [4].

Обработка АУ различными химическими веществами позволяет изменять площадь поверхности, состав и количество функциональных групп [3]. Например, окислительная модификация ( $\text{HNO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{HCl}$ ) приводит к увеличению кислородсодержащих групп на поверхности АУ. Это повышает адсорбционную способность АУ по отношению к тяжелым металлам из водных сред за счет образования

металлокомплексов между ионами металлов и отрицательно заряженными кислотными группами. Наибольшее влияние оказывает модификация  $\text{HNO}_3$  при температуре кипения. При этом уменьшается площадь удельной поверхности, объем микро- и мезопор, вследствие окисления углерода и разрушения пористой структуры. Модифицирование  $\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{O}_2$  оказывает менее значительное влияние на текстурные характеристики [1].

Помимо окислителей для модификации угля используют восстановители ( $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) [1, 3]. Такая модификация уменьшает гидрофильность сорбента за счет удаления поверхностных кислородных групп, что повышает адсорбционные способности, к гидрофобным газам на основе углерода или другим неполярным загрязнителям.

Обработка некоторыми неорганическими или органическими веществами также приводит к увеличению сорбционной емкости модифицированных АУ по отношению к ионам тяжелых металлов из объектов окружающей среды. В качестве таких модификаторов выступает, например, раствор хитозана или гематит (наночастицы  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  в качестве покрывающего агента) [3].

Нанесение на АУ покрытий из углеродсодержащих материалов (фуллеренов, оксидов графена или графенов, нанотрубок или нановолокон) также приводит к получению сорбентов с повышенной адсорбционной способностью к тяжелым металлам. Такая обработка часто приводит к увеличению площади поверхности и появлению дополнительных кислородсодержащих поверхностных групп [3].

Таким образом, в последние годы основное внимание исследователей направлено на разработку инновационных методов модификации и функционализации АУ. Такие методы изменения поверхности сорбентов позволяют повысить селективность конкретных загрязнителей, улучшить химические свойства и эффективность повторного использования АУ.

### Список литературы

1. Wang X. Key factors and primary modification methods of activated carbon and their application in adsorption of carbon-based gases: A review / X. Wang, H. Cheng, G. Ye, et al. // *Chemosphere*. – 2022. – Vol. 287 – 131995. – DOI:10.1016/j.chemosphere.2021.131995.
2. Gao Y. Insight into activated carbon from different kinds of chemical activating agents: A review / Y. Gao, Q. Yue, B. Gao, A. Li // *Science of the Total Environment*. – 2020. – Vol. 746. – 141094. – DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.141094.
3. Mariana M. Recent advances in activated carbon modification techniques for enhanced heavy metal adsorption / M. Mariana, Abdul Khalil H.P.S., E.M. Mistar // *Journal of Water Process Engineering*. – 2021. – Vol. 43. – 102221. – DOI:10.1016/j.jwpe.2021.102221.
4. Rashidi N. Recent methodological trends in nitrogen-functionalized activated carbon production towards the gravimetric capacitance: A mini review / N.A. Rashidi, S. Yusup // *Journal of Energy Storage*. – 2020. – Vol. 32. – 101757. – DOI:10.1016/j.est.2020.101757.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАСЛЯНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

*Курьято Н.А.<sup>1</sup>, Князева Л.Г.<sup>1,2</sup>, д-р хим. наук, доц.,  
Дорохов А.В.<sup>1</sup>, канд. хим. наук, 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 им. Г.Р. Державина», г. Тамбов, РФ

*cska-sparta@yandex.ru*

**Введение.** На протяжении почти трех столетий сталь является ведущим конструкционным материалом из-за доступности, распространенности и дешевизны сырья; высокой прочности, жесткости и теплостойкости, достаточной пластичности и вязкости; технологичности. В связи с развитием промышленного и сельскохозяйственного производства спрос на относительно дешевые мягкие стали продолжает расти. Но у стальных изделий и конструкций есть один серьезный недостаток – возможность коррозионных разрушений под действием внешних факторов, которые могут приводить к серьезным экономическим проблемам. Для защиты металлов эффективным и экономичным методом является использование ингибиторов коррозии (ИК). Хотя существует множество методов ингибиторной защиты мягких сталей, использование для этих целей составов на основе отработанного моторного масла (ММО) с добавлением ИК является наиболее простым, экономичным и эффективным методом [1-5].

**Целью** данной работы является изучение эффективности противокоррозионной защиты стали Ст3 композициями на масляной основе с добавлением масляных ИК (0-10 масс. %): отечественных парафина П-2 (0-10 масс. %) и Эмульгина, импортных комбинированных добавок Cortec VpCI-369, Cortec VpCI-368D, M-531 (производитель компания Cortec Corporation, USA, на территории России официальным представителем компании является общество ООО «Картек Рус»). Импортные ИК имеют в свое составе, помимо маслорастворимого, летучие компоненты, что должно повысить эффективность их действия в труднодоступных местах.

**Основная часть.** Для нанесения покрытия образцы опускали в ванну консервации на 10 сек., после чего оставляли на воздухе в подвешенном вертикальном положении на 1 сутки для стекания избытка масляной композиции и формирования защитной пленки [2].

Проводили сравнительные коррозионные испытания в 0,5 М растворе NaCl (ГОСТ 9.042-75). Скорость коррозии рассчитывали по потере массы образцов в процессе эксперимента по формуле:

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau},$$

где  $\Delta m$  – потеря массы образца, 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  $K_0$ ,  $K_1$  – скорости коррозии в отсутствие и при наличии пленки исследуемых составов.

Результаты гравиметрических испытаний в 0,5 М NaCl для составов с отечественными ИК на основе ММО приведены в таблице 1. Само отработанное масло способно защищать стальную поверхность с защитной эффективностью  $Z = 52 \%$ . С ростом концентрации ИК защитная эффективность возрастает в большей степени при использовании Эмульгина, чем при использовании парафина. При концентрации Эмульгина 5-10 масс. %  $Z = 94 - 97 \%$ . При концентрации парафина 10 масс. %  $Z = 94 \%$ .

Для импортных ИК такой высокой защитной эффективности удается достичь только при использовании 10 масс. % М-531 ( $Z = 96 \%$ ). С ростом концентрации Cortec VpCI-369 защитная эффективность достигает только 69 % при 7-10 масс. % ИК. При добавлении Cortec VpCI-368 D, защитная эффективность в отличие от всех остальных используемых ИК падает, что видимо связано с отличиями в его строении.

Сравнивая полученные результаты, можно отметить, что из импортных ингибиторов коррозии в солевой среде лучше всего работает М-531. Исследуемые отечественные ингибиторы коррозии в лабораторных условиях солевого раствора не уступают импортным и вполне могут их заменить в данных условиях.

Таблица 1

Коррозионные испытания образцов стали с покрытиями на основе отработанного масла с добавлением парафина в 0,5 М NaCl

Покрытие		Парафин		Эмульгин	
масло	ИК, масс. %	K, (г/м <sup>2</sup> ·ч)	Z, %	K, (г/м <sup>2</sup> ·ч)	Z, %
Без покрытия		0,0812	-	0,0812	-
ММО	0	0,0399	52	0,0399	52
	1	0,0414	49	0,0325	60
	3	0,0393	52	0,0156	87
	5	0,0315	61	0,0052	94
	10	0,0052	94	0,0024	97

Таблица 2

Коррозионные испытания стальных образцов с покрытиями из композиции на основе ММО с добавлением комбинированных ингибиторов коррозии

Покрытие		M-531		Cortec VpCI-369		Cortec VpCI-368 D	
масло	ИК	K, (г/м <sup>2</sup> ·ч)	Z, %	K, (г/м <sup>2</sup> ·ч)	Z, %	K, (г/м <sup>2</sup> ·ч)	Z, %
Без покрытия		0,0414	-	0,1229		0,1229	
ММО	0	0,0240	42	0,0590	52	0,0590	52
	3	0,0224	46	0,0553	55	0,0615	50
	5	0,0145	65	0,0406	67	0,0909	26
	7	0,0091	78	0,0381	69	0,0860	30
	10	0,0016	96	0,0381	69	0,0860	30

**Заключение.** Исходя из результатов, можно сделать вывод, что отечественные добавки ингибиторов не уступают зарубежные. А составы на основе ММО, содержащие их в себе имеют высокую защитную эффективность от коррозии стали.

#### Список литературы

1. Vigdorovich, V.I. Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials / V.I. Vigdorovich, L.G. Knyazeva, L.E. Tsygankova, V.V. Ostrikov, A.I. Petrashev // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2019. – Vol. 55. – Iss. 4. – P. 412–423.
2. Knyazeva, L.G. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCI-368D / L.G. Knyazeva, L.E. Tsygankova, A.V. Dorokhov, N.A. Kur'yato // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2021. – Vol. 10. - Iss. 2. – P. 551–561.
3. Prokhorenkov, V.D. Carriers of the Protective Effectiveness of Used Motor Oils / V.D. Prokhorenkov, L.G. Knyazeva, V.V. Ostrikov, V.I. Vigdorovich // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2006. – Vol. 42. – Iss. 1. – P. 35–38.
4. Князева, Л.Г. Разработка консервационных материалов на основе отработанных масел / Л.Г. Князева, В.Д. Прохоренков, В.В. Остриков, И.Ю. Чернышова // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2002. – № 10. – С. 38–40.
5. Курьято, Н.А. Защитная эффективность масляных композиций с парафином / Н.А. Курьято, В.А. Брыксина, Л.Д. Родионова, Л.Г. Князева // Наука в центральной России. – 2022. – № 6(60). – С. 120–128.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ГРАФЕНОВЫХ ЭКРАНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОЛЬФРАМОМ, ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ОТ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Левин К.Л.*<sup>1,2</sup>, канд. хим. наук, доц.,  
*Ханин С.Д.*<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
*Логинов Б.А.*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГКВООУ ВО «Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, РФ

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт Высокомолекулярных соединений РАН»,  
г. Санкт-Петербург, РФ

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва, РФ

*levinkl@hotmail.com*

**Введение.** В последние десятилетия, с увеличением интереса к исследованию космоса в пределах Солнечной системы, возросло также внимание к материалам, которые могли бы служить для защиты радиооборудования от воздействия условий открытого космоса и использоваться в качестве электропроводящего покрытия для радиоантенн и солнечных панелей [1-3]. Один из таких материалов - графен - предоставляет несколько значимых преимуществ для защиты электронной аппаратуры в космосе. Во-первых, графен обладает высокой способностью поглощать видимый свет, во-вторых, обладает и исключительно высокой термостойкостью.

В данном исследовании изучали применение многослойных графеновых материалов в качестве защитных экранов, находящихся в открытом космосе и подверженным воздействию космических факторов. Чтобы обеспечить долговечность экрана с сохранением его эффективности от истирающих воздействий, использовали метод магнетронного напыления для нанесения слоя металлического вольфрама на поверхность графена. Воздействие, моделирующее истирающие факторы в космическом пространстве, имитировалось с помощью магнетронного травления.

Для оценки состояния поверхности образцов до и после травления применялась атомно-силовая микроскопия, позволяющая определить на сколько вольфрам выполняет защитную функцию, предохраняя графеновую пленку от истирания.

**Основная часть.** Можно установить условный параметр поглощения экрана на уровне 99,99 %. Для достижения этого показателя необходимо использовать примерно 400 слоев углеродного графена.



Расстояние между каждым монослоем составляет 0,335 нм. Таким образом, толщина такой пачки слоев составит приблизительно 0,34... 0,5 мкм (с учетом волнистости поверхности), или, с двухкратным запасом, 1 мкм.

Таким образом, масса одного квадратного метра экрана из графена, исходя из его плотности в  $2,27 \text{ г/см}^3$ , составит примерно 2,3 грамма. В то время как экран, выполненный из алюминия с аналогичным уровнем оптического поглощения на длине волны 555 нм ( $1,46 \times 10^6 \text{ см}^{-1}$ ), при толщине 0,47 мм, будет иметь массу 1,27 кг, что позволяет сделать вывод в пользу графена.

Одновременно возникает вопрос о стойкости графеновых пленок к механическим воздействиям, которые могут возникнуть в условиях низких орбит открытого космоса. Эти механические факторы могут включать в себя истирающее воздействие от протонно-гелиевой составляющей солнечного ветра (СВ) и динамическое давление остаточной атмосферы.

Отметим, что первое из этих давлений сравнительно но невелико (2,7 нПа) по сравнению со вторым, составляющим, к примеру, на высоте 450 км величину 130 мПа [4-6].

В данной статье для моделирования воздействия открытого космоса на графеновую пленку использовался процесс плазменного травления. Для оценки близости условий лабораторного эксперимента к условиям открытого космоса применялось соотношение между динамическим давлением в открытом космосе и давлением плазмы в установке плазменного травления. Методика, которая ранее предлагалась для расчета параметров плазмы в камере плазменного травления, основывается на термодинамическом подходе и подробно описана в [7, 8].

Согласно выбранным экспериментальным условиям, давление в камере для плазменного травления составляло 0,10 мПа. Это означает, что в рамках данного эксперимента имитация истирающего воздействия открытого космоса была ускоренной в 1300 раз, с учетом некоего коэффициента ( $k_{sp}$ ), учитывающего разницу в давлениях между экспериментальными условиями и реальными условиями в космосе. Значение этого коэффициента  $k_{sp}$  будет определено в дальнейших исследованиях. Если принять  $k_{sp}$  равным 1, то одна секунда травления в эксперименте соответствует примерно 30 минутам в открытом космосе.

Для изучения поверхности и её рельефа мы использовались атомно-силовая микроскопия. В качестве параметра для оценки поверхности использовался  $R_a$ , параметр средней шероховатости.

С целью установить защитное действие  $W$  на поверхность графена, было произведено воздействие плазмы на поверхность МСГ пленок, покрытых слоем  $W$  различной толщины. Параметры установки нанесения  $W$  подобраны таким образом, что 1 с нанесения соответствовала росту пленки на 10 нм.

Информация о шероховатости пленок, изготовленных из многослойного графена (МСГ) с добавлением различных толщин слоя вольфрама (W) и подвергнутых одинаковому времени травления, представлена в таблице. Проводили усреднение по не менее чем пяти образцам. В качестве контрольной точки использовалась W пленка, не подвергавшаяся травлению. Шероховатость этой ( $R_{a+/- \Delta \overline{R_a^2}}$ ) пленки оказалось равной 62,1+/-30,4 нм.

Из представленной таблицы следует, что параметр шероховатости  $R_a$  для пленок МСГ/W оставался практически неизменным во время эксперимента, в то время как для незащищенных МСГ, при аналогичных условиях, этот параметр увеличился в 20 раз [8, 9]. Также важно отметить, что данные из таблицы указывают на значительное увеличение среднеквадратического отклонения  $\Delta \overline{R_a^2}$ : с 7,6 до 35,2 нм, свидетельствуя об увеличении неоднородности слоя металла с увеличением его толщины. Важно отметить, что эта неоднородность, по всей видимости, не связана с процессом травления.

Таблица

Зависимость шероховатости  $R_a$  пленок МСГ/W от толщины слоя W при времени травления 20 с

<i>Время напыления, с</i>	<i>Толщина W, нм</i>	<i>R<sub>a</sub>, нм</i>	<i>Среднеквадратическое отклонение, нм</i>
5	50	76,07	7,6
10	100	66,54	14,6
20	200	80,12	35,3

**Заключение.** Для увеличения устойчивости графеновых материалов, предназначенных для защиты радиоаппаратуры от воздействия факторов космического пространства в условиях открытого космоса, применялся метод нанесения слоя металлического вольфрама.

Путем сравнительного анализа морфологии пленок с и без вольфрамового покрытия было установлено, что вольфрам выполняет защитную функцию.

Полученные результаты могут иметь практическое применение при разработке солнечных экранов для защиты от излучений в открытом космосе.

### Список литературы

1. Kaçal M.R., Dilsiz K., Akman F., Polat H., Analysis of radiation attenuation properties for Polyester/Li2WO4 composites, Radiation Physics and Chemistry, Volume 179, 2021, 109257, ISSN 0969-806X, <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109257>.
2. Gatte M. T., Soh P. J., Kadhim R. A., Haider J. A., R. Badlishah Ahmad, Modeling and performance evaluation of antennas coated using monolayer graphene in the millimeter and sub-millimeter wave bands, International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, Vol. 34, Issue 5, e2929.

3. Kaufman R. "Could Space Mirrors Stop Global Warming?" Live Science. <https://www.livescience.com/22202-space-mirrors-global-warming.html>, Дата обращения 2019-11-08.
4. V. U. J. Nwankwo, W. Denig, S. K. Chakrabarti, M.P. Ajakaiye, J. Fatokun, A. W. Akanni, J.-P. Raulin, E. Correia, J. E. Enoh, and P. I. Anekwe Ann. Geophys., Atmospheric drag effects on modelled low Earth orbit (LEO) satellites during the July 2000 Bastille Day event in contrast to an interval of geomagnetically quiet conditions, 39, 397–412, 2021, <https://doi.org/10.5194/angeo-39-397-2021>
5. Pudovkin M.I. // J. Geophys. Res. 1995. V. 100. No A5. P. 7917.
6. Pudovkin M.I. // Rept. Progr. in Phys. 1995. V. 58. No 9. P. 929.
7. Левин К.Л., Беспалова Е.А., Ванькаев А.С., Клюкина Е.В., Лопатин А.В., Метальников Н.М., Сапрыкин М.Э., Логинов А.Б., Оразов И.В., Логинов Б.А., Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2021, № 9, С. 51-55.
8. Levine K.L., Khanin S.D., Bepalova E.A., Vankaev A.S., Klyukina E.V., Lopatin A.V., Metalnikov N.M., Saprykin M.E., Loginov A.B., Orazov I.V., Loginov B.A., Studying wearing resistance of graphene-based materials for the project of the first in the world probe microscope - Earth satellite by solar wind plasma emulation, Journal of Physics: Conference Series, 2022, p. 012001.

УДК 533.16

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ ГАЗОВ. ЧАСТЬ 3

*Лихачев Е.Р.*, канд. физ.-мат. наук, доц., *Засимский Д.А.*

ФГКВБОУ ВПО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»»,  
г. Воронеж, РФ  
*lih73@mail.ru*

**Введение.** В предыдущей работе [1] была предложена новая эмпирическая формула, выражающая температурную зависимость вязкости газов,

$$\eta = \frac{kT^m}{T + S}, \quad (1)$$

где  $k$ ,  $S$  и  $m$  постоянные параметры и проведено моделирование этой зависимости для 56 газов при нормальном давлении ( $p = 1$  бар). Для всех газов получено хорошее совпадение расчетных значений вязкости с экспериментальными (средняя относительная ошибка не превышает 0,7 %).

Как известно при давлениях до 10 бар вязкость газа слабо зависит от давления. При более высоких давлениях значения вязкости, соответствующие определенной температуре газа, начинают увеличиваться с ростом давления. Данный характер зависимости связан с изменением

механизма вязкости. При низких давлениях, когда вязкость газа обусловлена столкновениями молекул, вязкость газа практически не зависит от давления. С повышением давления возрастает роль активационного механизма вязкости, характерного для жидкостей. Вязкость жидкости по величине много больше вязкости соответствующего ей газа при той же температуре. Поэтому смещение механизма вязкости газов в сторону механизма жидкостей приводит к увеличению вязкости при постоянной температуре.

**Основная часть.** В настоящей работе проведено исследование степени согласия результатов моделирования по формуле (1) с экспериментальными данными при давлениях 100–1000 бар. Методика расчета приведена в [1]. Моделирование проведено только для трех газов, так как в справочной литературе экспериментальные данные по температурной зависимости вязкости при высоких давлениях приведены не для всех рассмотренных в [1] газов.

Формула (1) должна хорошо согласовываться с экспериментом при всех давлениях, когда механизм вязкости, свойственный газам, доминирует над механизмом вязкости, свойственным жидкостям.

В диапазоне давлений 1–1000 бар для водорода и неона имеется температурный интервал, в котором вязкость с ростом температуры увеличивается. С увеличением давления ширина указанного интервала уменьшается. Именно в этом интервале температур было проведено моделирование. Для воды указанный температурный интервал есть только до давления 900 бар. При более высоких давлениях возрастающий участок температурной зависимости вязкости приобретает ступенчатый вид – участки роста вязкости сменяются плато, в пределах которых вязкость не меняется.

Температурную зависимость вязкости воды при давлениях превышающих 900 бар можно объяснить тем, что механизм вязкости, характерный для газов, перестает быть доминирующим над механизмом вязкости, характерным для жидкостей. При еще больших давлениях начнет доминировать механизм вязкости свойственный жидкостям, и вязкость газа начнет убывать с ростом температуры во всем диапазоне температур, соответствующем газообразному состоянию.

Для воды нарушения монотонности возрастающего участка температурной зависимости вязкости начинаются при меньших давлениях, чем для других газов. Это связано с тем, что вода относится к веществам с сильным взаимодействием молекул в газообразном состоянии [2].

Рассчитанные значения параметров  $k$ ,  $S$  и  $m$  для водорода, неона и воды при различных давлениях приведены в таблицах 1–3 соответственно. Значения параметров при  $p = 1$  бар взяты из [1]. В таблицах 1–3 также приведены температурный интервал  $\Delta T$ , в котором проводилось моделирование, и средняя относительная ошибка  $\delta$  вычисления вязкости по формуле (1).

Таблица 1

Значения постоянных параметров формулы (1) для водорода при различных давлениях

$p$ , бар	$S$ , К	$k$ , $10^{-7}$ Па·с·К $^{1-m}$	$m$	$\Delta T$ , К	$\delta$ , %
1	9	2,30	1,648	21–1273	0,53
100	–19	1,62	1,695	100–1273	0,36
200	–35	1,48	1,706	150–1273	0,32
500	–70	1,28	1,723	200–1273	0,28
1000	–108	1,24	1,725	300–1000	0,08

Таблица 2

Значения постоянных параметров формулы (1) для неона при различных давлениях

$p$ , бар	$S$ , К	$k$ , $10^{-7}$ Па·с·К $^{1-m}$	$m$	$\Delta T$ , К	$\delta$ , %
1	14	8,23	1,647	26–1300	0,70
100	–13	6,67	1,673	100–1300	0,43
200	–32	5,67	1,694	130–1300	0,43
500	–67	4,63	1,719	190–1300	0,31
1000	–106	4,02	1,735	280–1300	0,17

Таблица 3

Значения постоянных параметров формулы (1) для воды при различных давлениях

$p$ , бар	$S$ , К	$k$ , $10^{-7}$ Па·с·К $^{1-m}$	$m$	$\Delta T$ , К	$\delta$ , %
1	1170	26,33	1,497	373–1073	0,16
100	1155	21,56	1,527	593–1073	0,48
200	975	27,09	1,484	663–1073	0,20
500	250	27,85	1,427	843–1073	0,42
900	–135	28,58	1,392	983–1073	0,10

Из таблиц 1–3 следует, что при всех давлениях согласие расчетных значений вязкости с экспериментальными хорошее (средняя погрешность менее 1 %). Следовательно, формула (1) остается справедливой для любых давлений, при которых в температурной зависимости вязкости существует интервал температур, в котором вязкость газа монотонно увеличивается с ростом температуры.

Проанализируем зависимость параметров формулы (1) от давления. Так как с увеличением давления взаимодействие между молекулами усиливается, то изменение параметров должно быть связано с этим.

Как видно из таблиц 1–3 поправка  $S$  существенно уменьшается с ростом давления. Параметры  $k$  и  $m$  изменяются не так сильно, как  $S$ , и в изменении параметров  $k$ ,  $m$  никаких общих закономерностей не прослеживается.

Можно предположить, что изменение параметра  $S$  связано с изменением механизма вязкости. Этот параметр вводится в модели

Сазерленда [3] и связан с увеличением частоты столкновений вследствие взаимодействия молекул. При повышении давления столкновения происходят реже, следовательно, параметр  $S$  должен уменьшаться.

**Заключение.** Таким образом, зависимость поправки к температуре от давления объясняется смещением механизма вязкости от механизма, характерного для газов, к механизму, характерному для жидкостей.

### Список литературы

1. Лихачев, Е. Р. Моделирование температурной зависимости вязкости газов. Часть 2 / Е. Р. Лихачев, Д. А. Засимский // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: матер. VII Междунар. научн. конф. (Донецк, 27–28 октября 2022 г.). – Том 3: Биологические и химические науки, медицина, экология. – Донецк: ДонНУ, 2022. – С. 348–350. – URL: [http://science.donnu.ru/wp-content/uploads/2022/10/dch\\_2022-tom-3-biologicheskie-i-himicheskie-nauki.pdf](http://science.donnu.ru/wp-content/uploads/2022/10/dch_2022-tom-3-biologicheskie-i-himicheskie-nauki.pdf) (дата обращения: 18.09.2023).
2. Лихачев, Е. Р. Критические параметры, изотермы, изобары и линии насыщения газа в системе “жидкость-газ” / Е. Р. Лихачев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2017. – № 2. – С. 14–22.
3. Бретшнайдер, С. Свойства газов и жидкостей: инженерные методы расчета / С. Бретшнайдер. – М., Л.: Химия, 1966. – 536 с.

УДК 533.16

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

*Лихачев Е.Р.*, канд. физ.-мат. наук, доц., *Засимский Д.А.*

ФГКВОУ ВПО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»»,  
г. Воронеж, РФ  
*lih73@mail.ru*

**Введение.** Обычно для моделирования вязкости чистых газов и газовых смесей используются различные формулы [1, 2]. При этом методики вычисления вязкости газовых смесей достаточно сложны. Кроме того существующие методики расчета вязкости газовых смесей не универсальны и ограничиваются областью умеренных давлений [2]. Методики, позволяющие рассчитывать вязкость в широком диапазоне давлений, имеют недостаточную точность (погрешность до 10 % [3]).

В настоящей работе на примере воздуха исследуется возможность моделирования температурной зависимости вязкости чистых газов и газовых смесей по одной и той же формуле.

Для моделирования используется эмпирическая формула, предложенная в работе [4],

$$\eta = \frac{kT^m}{T + S}, \quad (1)$$

где  $k$ ,  $S$  и  $m$  – постоянные параметры. С помощью этой формулы в [4] проведено моделирование температурной зависимости вязкости для 56 чистых газов.

**Основная часть.** В настоящей работе проведено моделирование температурной зависимости вязкости воздуха с помощью формулы (1) при давлениях 1–1000 бар.

Для каждого значения давления параметры  $k$ ,  $S$  и  $m$  рассчитывались с помощью метода наименьших квадратов из условия наилучшего совпадения экспериментальных значений вязкости  $\eta_{\text{э}}$ , взятых из справочной литературы, со значениями вязкости  $\eta_{\text{т}}$ , вычисленными по формуле (1) при различных температурах. В расчете использовались такие же значения температуры как в экспериментальных данных. При вычислениях для каждого давления выбирался такой диапазон температур, в котором вязкость монотонно увеличивается с ростом температуры, что соответствует механизму вязкости, свойственному газам. Экспериментальные данные взяты из справочника [5].

Вычисленные значения параметров  $k$ ,  $S$  и  $m$  приведены в таблице 1. В таблице 1 также приведены температурный интервал  $\Delta T$ , в котором проводилось моделирование, и средняя относительная ошибка  $\delta$  расчета вязкости по формуле (1)

$$\delta = \left| \frac{\eta_{\text{э}} - \eta_{\text{т}}}{\eta_{\text{э}}} \right| \cdot 100 \%. \quad (2)$$

Таблица 1  
Значения постоянных параметров формулы (1) для воздуха при различных давлениях

$p$ , бар	$S$ , К	$k$ , $10^{-7}$ Па·с·К $^{1-m}$	$m$	$\Delta T$ , К	$\delta$ , %
1	95	1,19	1,530	85–2273	0,55
100	–30	0,42	1,665	220–1300	0,84
200	–72	0,40	1,667	280–1300	0,59
500	–149	0,37	1,672	450–1300	0,20
1000	–247	0,29	1,701	600–1300	0,31

Из таблицы 1 следует, что при всех давлениях согласие расчетных значений вязкости с экспериментальными данными хорошее (средняя погрешность менее 1 %). Разброс значений погрешности объясняется возможными ошибками в экспериментальных данных и различным количеством значений температуры в диапазоне  $\Delta T$ .

**Заключение.** Таким образом, предложенная формула (1) позволяет рассчитывать с хорошей точностью вязкость чистых газов и газовых

смесей в рамках единой методики и может применяться для высоких давлений. Ограничения по температуре и давлению связаны только с механизмом вязкости, так как с ростом давления уменьшается температурный интервал, в котором вязкость при повышении температуры монотонно возрастает.

### Список литературы

1. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1982. – 592 с.
2. Бретшнайдер, С. Свойства газов и жидкостей: инженерные методы расчета / С. Бретшнайдер. – М., Л.: Химия, 1966. – 536 с.
3. Глумов, Д. Н. Способ расчета динамической вязкости газов в широком диапазоне давлений / Д. Н. Глумов, А. В. Стрекалов // Нефтегазовое дело. – 2011. – № 1. – С. 194–209. – URL: <http://ogbus.ru/issue/view/issue12011> (дата обращения: 18.09.2023).
4. Лихачев, Е. Р. Моделирование температурной зависимости вязкости газов. Часть 2 / Е. Р. Лихачев, Д. А. Засимский // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: матер. VII Междунар. научн. конф. (Донецк, 27–28 октября 2022 г.). – Том 3: Биологические и химические науки, медицина, экология. – Донецк: ДонНУ, 2022. – С. 348–350. – URL: [http://science.donnu.ru/wp-content/uploads/2022/10/dch\\_2022-tom-3-biologicheskie-i-himicheskie-nauki.pdf](http://science.donnu.ru/wp-content/uploads/2022/10/dch_2022-tom-3-biologicheskie-i-himicheskie-nauki.pdf) (дата обращения: 18.09.2023).
5. Варгафтик, Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 720 с.

УДК 678.6

## ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ЭПОКСИДНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАНОКОМПОЗИТОВ

*Лыга Р.И.<sup>1</sup>*, канд. хим. наук, доц.,

*Михальчук В.М.<sup>1</sup>*, д-р хим. наук, проф.,

*Мальцева Н.А.<sup>1</sup>, Чабак И.Е.<sup>1</sup>, Глазунова В.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

<sup>2</sup>ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, РФ  
*lygarita@mail.ru*

**Введение.** Исследование наноструктурированных материалов и веществ с низкой размерностью является актуальным научным направлением. Активно изучаются свойства наночастиц, микрокластеров, тонких пленок и др. Диоксиды кремния, титана и циркония обладают рядом свойств, которые определяют их современную научную значимость [1]. Такие вещества применяют не только как индивидуальное соединение, но и как наполнители полимерных матриц, наносимых на поверхность



подложек различной природы, что позволяет получать защитные покрытия, а также различные функциональные материалы [2].

Чрезвычайно перспективным методом получения полимерных наноматериалов является золь-гель синтез, который позволяет обеспечивать высокую чистоту синтезируемого продукта и регулировать его микроструктуру [2]. В основе золь-гель технологии лежит получение золя и его перевод в гель, который образован пространственной сеткой частиц дисперсной неорганической фазы. Первичную свободнодисперсную систему можно формировать предварительно, до момента смешения с полимерным связующим, а можно синтезировать наночастицы непосредственно в полимерной составляющей композитов.

**Целью** исследования было осуществление золь-гель метода получения эпоксидно-неорганических нанокомпозитов и тонких пленочных покрытий на их основе двумя способами: с предварительным формированием частиц наполнителя и упрощенным методом.

**Основная часть.** Получено несколько серий образцов эпоксидно-неорганических композитов катионной полимеризации и аминного отверждения. Полимерную матрицу формировали как на основе эпоксидно-диановых олигомеров, так и циклоалифатических смол. Для синтеза наночастиц неорганического наполнителя (наполнителей) использовали прекурсоры: тетраэтоксисилан и тетрабутоксититан.

При предварительном формировании частиц нанонаполнителей гидролитическую поликонденсацию алкоксисоединения катализировали азотной кислотой. Созревание золя происходило в течение суток. Для гомогенизации реакционной смеси золя частиц наполнителя с полимерным связующим использовали органический растворитель, который на завершающих стадиях синтеза следовало удалять. Таким образом, были получены композиты и пленочные покрытия на поверхности алюминиевого сплава Д16 с массовой долей  $\text{MeO}_2$  от 0,5 до 3,0 %. Изучены термомеханические, адгезионные и защитные свойства композитов. Обнаружено наличие граничных переходных слоёв с повышенной молекулярной подвижностью, что отражается на свойствах композитов и покрытий. Получены нанопокртия, обладающие высокой антикоррозионной эффективностью на алюминиевой поверхности.

Упрощенный способ получения покрытий не привел к снижению эффективности антикоррозионной защиты сплава. Все электрохимические параметры, характеризующие антикоррозионные свойства покрытий, находятся на уровне композитов, полученных по классической схеме.

Исследования, направленные на разработку органо-неорганических композитов, обладающих защитными свойствами, нашли свое продолжение в осуществлении упрощенного золь-гель метода при получении образцов, содержащих комбинированный наполнитель

(ZrO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>). При одновременном присутствии двух оксидных наполнителей наблюдается, как правило, армирующее действие на полимерную матрицу. Такое влияние авторы исследования объясняют формированием неорганического каркаса по всему объему композита. Предварительная оценка защитных свойств таких систем показала, что с увеличением массовой доли наполнителей повышаются параметры, характеризующие антикоррозионные свойства и устойчивость к термоокислительной деградации композитов.

**Заключение.** При осуществлении упрощенного золь-гель метода удалось решить ряд важных задач: обеспечение равномерности распределения наночастиц оксидов кремния и титана без образования крупных агрегатов; исключение необходимости введения в систему органических растворителей и их последующее удаление вакуумированием; замена дорогих и малодоступных эпоксидных смол на наиболее распространённые смолы дианового ряда; расширение диапазона массового содержания нанонаполнителя в сторону его увеличения (до 25 %).

#### Список литературы

1. Silica solid particles toughening, strengthening and anti-aging on epoxy resin / J. Ai, W. Cheng, P. Wang, Chen Q. – Текст : непосредственный // Journal of Applied Polymer Science. – 2020. – V. 138, Iss. 18. – 50331. – DOI: 10.1002/app.50331.
2. Sol-gel derived silica: A review of polymer-tailored properties for energy and environmental applications / K. Baskaran, M. Ali, K. Gingrich [et al.]. – Текст : непосредственный // Microporous and Mesoporous Materials. – 2022. – V. 336. – 111874. – DOI: 10.1016/j.micromeso.2022.111874.

УДК 541.127-128:546.215:546.264:547.379.1

## БЕЗМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ СУЛЬФИДОВ

*Любимова А.К.,*

*Лобачев В.Л.,* д-р хим. наук, ст. науч. сотр.,

*Безбожная Т.В.,* канд. хим. наук

ФГБНУ "Институт физико-органической химии и углехимии

им. Л.М. Литвиненко", г. Донецк, РФ

*lobachev.vl51@yandex.ru*

За время своей жизнедеятельности человечество накопило огромное количество экотоксикантов, среди которых серусодержащие органические соединения, например, боевое отравляющее вещество кожно-нарывного

действия иприт ( $\beta,\beta'$ -дихлордиэтилсульфид), меркаптаны, агрохимические препараты. Серусодержащие органические соединения являются загрязнителями сырой нефти. Поэтому развитие методов эффективной утилизации этих соединений является актуальной задачей. Важную роль в ее решении играет метод окислительной десульфуризации, основанный на использовании в качестве окислителя пероксида водорода (ПВ) – реагента, отвечающего требованиям “зеленой химии”. Этот подход также позволяет получать из тиоэфиров сульфоны и сульфоксиды, являющиеся важными интермедиатами в синтезе биологически активных соединений.

Однако в реакциях с тиоэфирами пероксид водорода проявляет низкую реакционную способность. Поэтому окисление проводят в присутствии активатора ПВ, выбор которого до сих пор остается предметом поиска многих исследователей. Известными активаторами являются муравьиная и трифторуксусная кислота за счет образования с ПВ активных катализаторов – пероксокислот. Несмотря на то, что это недорогие катализаторы в сравнении дорогостоящими и зачастую токсичными металлокомплексами, их использование представляет определенные риски, связанные с их высокой кислотностью.

Повысить окислительную способность ПВ можно используя в качестве активатора борную кислоту. На примере реакций диэтилсульфида ( $\text{Et}_2\text{S}$ ) в водных и водно-спиртовых средах при pH 8–12 показано, что этот эффект связан с образованием активных анионов монопероксобората  $\text{B}(\text{OH})_3(\text{OON})^-$  (МПБ) и дипероксобората с  $\text{B}(\text{OH})_2(\text{OON})_2^-$  (ДПБ), для которых константы скорости второго порядка в реакциях с  $\text{Et}_2\text{S}$  соответственно в 2,5 и 100 раз выше, чем с  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Зависимость скорости реакции  $\text{Et}_2\text{S}$  с ПВ в воде проходит через максимум при pH  $\sim 10$ . В качестве источника борной кислоты в щелочных средах может быть использован пероксоборат натрия (ПБ).

Установлено, что скорость окисления  $\text{Et}_2\text{S}$  пероксидом водорода в водных растворах MeCN ( $[\text{MeCN}] = 0,5\div 5$  об. %) растет с увеличением pH среды. При значении pH=10 скорость убыли  $\text{Et}_2\text{S}$  в системе MeCN/ $\text{H}_2\text{O}$  почти в 15 раз превышает скорость окисления диэтилсульфида пероксидом водорода в воде. Лимитирующей стадией процесса является реакция  $\text{HO}_2^-$  с MeCN, приводящая к образованию активного пероксиимидата (ПИ), который затем в быстрой стадии взаимодействует с  $\text{Et}_2\text{S}$ .

В настоящей работе нами изучена система диэтилсульфид – пероксоборат натрия – ацетонитрил – вода и проведена сравнительная характеристика с известными системами.

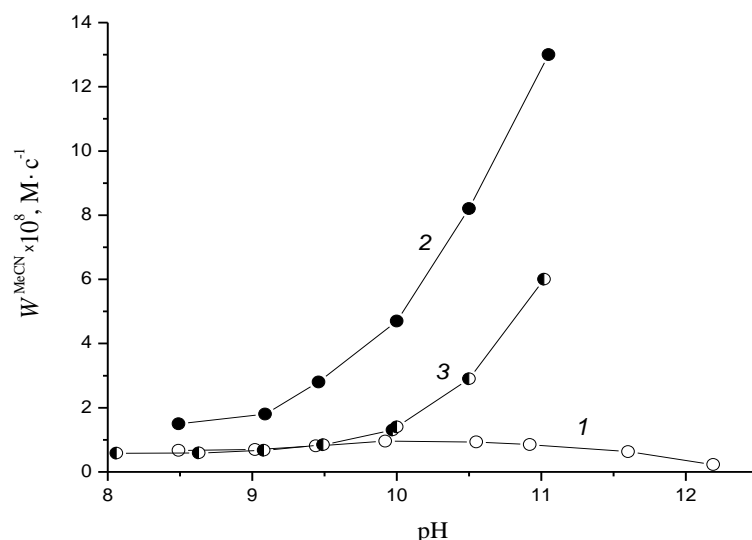


Рис. 1. pH-Зависимости начальных скоростей окисления  $\text{Et}_2\text{S}$  при 25 °C: 1 – окисление пероксоболатом натрия в водных растворах ( $[\text{ПБ}] = 0,002 \text{ M}$ ); 2 – в системе  $\text{H}_2\text{O}$ -MeCN-ПБ ( $[\text{ПБ}] = 0,002 \text{ M}$ ;  $[\text{MeCN}] = 0,19 \text{ M}$  (1 об %)); 3 – в системе  $\text{H}_2\text{O}_2$ -MeCN- $\text{H}_2\text{O}$  ( $[\text{H}_2\text{O}_2] = 0.006 \text{ M}$ ;  $[\text{MeCN}] = 0.19 \text{ M}$  (1 об %))

При  $\text{pH} \geq 9$  скорость окисления  $\text{Et}_2\text{S}$  в системе  $\text{H}_2\text{O}$ -MeCN-ПБ (рис., кривая 2) значительно выше скорости окисления пероксоболатом натрия в воде (кривая 1) и превышает скорость реакции в системе  $\text{H}_2\text{O}_2$ -MeCN- $\text{H}_2\text{O}$  (кривая 3). Возможно, что в этой системе в изученной области pH МПБ и ДПБ наряду с  $\text{HO}_2^-$  (продуктом распада пероксоболат-аниона в щелочной среде) также могут взаимодействовать с MeCN с образованием борпероксиимидатов, которые обладают более высокой активностью в реакциях с  $\text{Et}_2\text{S}$  по сравнению с ПИ. Близкий к нулевому порядок реакции по субстрату согласуется с предположением о лимитирующей стадии образования активных борпероксиимидатов, которые затем в быстрой стадии взаимодействуют с  $\text{Et}_2\text{S}$ .

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FRES-2023-0005).*

## КРЕМНЕЗЕМ КАК НАНОПОЛНИТЕЛЬ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ АМИННОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ

*Михальчук В.М.<sup>1</sup>*, д-р хим. наук, проф.,

*Лыга Р.И.<sup>1</sup>*, канд. хим. наук, доц.,

*Глазунова В.А.<sup>2</sup>, Николаева О.Ф.<sup>1</sup>, Верескун А.Д.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

<sup>2</sup>ФГБНУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», г. Донецк, РФ  
*lygarita@mail.ru*

**Введение.** Эпоксидно-аминные полимеры интересны с точки зрения возможности разработки композитов, обладающих ценным комплексом свойств. Авторы исследования разрабатывают защитные эпоксидно-неорганические покрытия для алюминиевых сплавов. Из большого разнообразия неорганических наполнителей выбран диоксид кремния (кремнезем). Частицы такого наполнителя, в особой степени нанокремнезема, можно использовать для улучшения механических, электрических, оптических, термических и других свойств полимеров. Преимуществами SiO<sub>2</sub> является стабильный химический состав и низкая стоимость, его можно легко синтезировать, осуществляя гидролитическую поликонденсацию алкоксисоединений кремния.

**Целью** исследования было получение эпоксидно-кремнеземных нанокompозитов с применением золь-гель метода и аминного отверждения полимерной матрицы, а также изучение влияния кремнеземного наполнителя на свойства композитов.

**Основная часть.** Синтезированы кремнеземные композиты на основе циклоалифатических эпоксидных олигомеров, эпоксидно-диановой смолы, аминных отвердителей и тетраэтоксисилана. Гидролиз и последующую поликонденсацию алкоксида кремния проходили непосредственно в смеси смола / амин. Удалось получить образцы без использования органических растворителей. Максимальная концентрация кремнезема в композитах составляла 25 % по массе.

Образцы, модифицированные кремнеземом, продемонстрировали одновременно и пластифицирующее, и армирующее влияние наполнителя на термомеханические свойства композитов. В зависимости от состава органической полимерной матрицы и содержания кремнезема наблюдалось преобладание того или иного эффекта. Увеличение параметров, характеризующих густоту сшивки полимера, обусловлено формирующимся в процессе синтеза композитов трехмерным каркасом из частиц кремнезема (рисунок 1). Реакции гидролиза и конденсации прекурсора протекают очень быстро, что сокращает время гелеобразования в эпоксидно-аминной реакционной смеси. Формирующийся трехмерный

кремнеземный каркас ограничивает деформацию образцов и существенно уменьшает его относительное удлинение при повышении температуры. Такой эффект наблюдался, в частности, в системах на основе триэпоксида УП-650Т и аминного отвердителя Ancamine 2579.

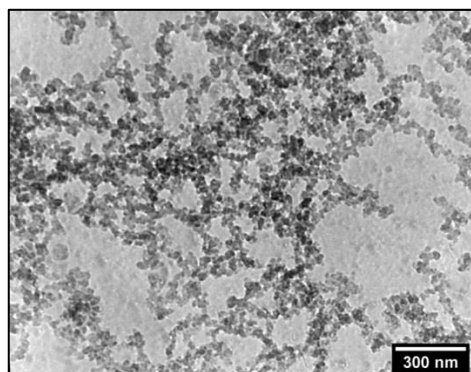


Рис. 1. ПЭМ-изображение скола образца на основе эпоксидной смолы ЭД-20, отвердителя Ancamine 2579 и 5 масс. %  $\text{SiO}_2$

В то же время присутствие наполнителя в реакционной смеси приводит к формированию дефектной сетчатой органической структуры. Получены данные, доказывающие образование граничных межфазных слоев в объеме композитов. Молекулярная масса межузловых сегментов композитов больше, чем немодифицированного полимера. Все это объясняет пластифицирующее влияние нанокремнезема на полимерную матрицу.

Введение наполнителя в состав композитов приводит к снижению скорости потери их массы в процессе неизотермической окислительной деструкции. При этом, чем выше степень наполнения композитов, тем ниже скорость процесса. Также повышается температура, соответствующая максимальной скорости деструкции, на десятки градусов. На основе эпоксидно-кремнеземных композитов получены пленочные покрытия на поверхности алюминиевых сплавов. Такие покрытия способны ингибировать коррозию металлической поверхности. Получены образцы, значительно повышающие антикоррозионное сопротивление субстрата.

**Заключение.** Влияние диоксида кремния на параметры, характеризующие топологическую структуру, отражается на эксплуатационных свойствах композитов. Кремнезем ингибирует термическую и окислительную деструкцию композитов. Эпоксидно-кремнеземные системы аминного отверждения могут быть использованы при разработке антикоррозионных покрытий для защиты алюминиевых сплавов. Достигнута эффективность защиты металлов от коррозии покрытиями такого типа более 95 %.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАЧАЛА САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ НИКЕЛЯ И АЛЮМИНИЯ

*Полищук В.С.*, д-р техн. наук,

*Алёхов Ю.А., Сагдеева Ф.Н., Галустьян О.В.*

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт «Реактивэлектрон», г. Донецк, РФ  
*reaktivelektron@mail.ru*

**Введение.** Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) интерметаллидов никеля и алюминия это экзотермический химический процесс безгазового горения  $xNi+yAl \rightarrow Ni_xAl_y+Q$ , приводящий к образованию полезных материалов и изделий, находящихся широкое применение в высокотемпературных и коррозионных средах [1]. В зависимости от теплового баланса процесса (соотношения прихода тепла от теплового эффекта реакции и теплового рассеяния вследствие различной степени адиабатичности рабочей зоны) синтез может проходить в двух вариантах: послойное горение и горение в режиме теплового взрыва. Характер протекания СВС, температура его начала определяется многочисленными факторами и вследствие этого может иметь стохастический характер.

**Цель работы** – определение зависимости температуры начала СВС в режиме теплового взрыва от дисперсности и химического состава исходных компонентов, степени их уплотнения.

**Основная часть.** Исходя из механизма структурообразования в волне горения системы NiAl [2] следует, что чем скорее легкоплавкий реагент (в нашем случае – это алюминий) перейдет в жидкую фазу, тем скорее начнется химическое взаимодействие реагентов в виде СВС-процесса.

С увеличением дисперсности порошков в них, как правило, снижается содержание металла [3]. А температура плавления алюминия имеет прямую зависимость от процентного содержания чистого вещества в составе порошка [4].

В связи с этим основными критериями подбора марок порошка алюминия для СВС-процесса являются дисперсность металлического порошка и процентное содержание чистого вещества в составе.

В качестве исходных компонентов использовали металлический порошок никеля карбонильного марки ПНК УТ-3 ГОСТ 9722-97 с содержанием основного компонента 99,9 % масс., представленный частицами каплевидно-шарообразной формы среднечисленным диаметром 8 мкм. Порошок алюминия высокой чистоты марки ПА-ВЧ-1(ТУ 1791-99-020-98) с содержанием основного компонента 99,9 % масс., представленный частицами каплевидно-шарообразной формы среднечисленным диаметром 18

мкм. Порошок алюминия промышленной чистоты марки АСД-4(ТУ 1791-99-019-98) с содержанием основного компонента 97,3 %масс., представленный частицами каплевидно-шарообразной формы среднечисленным диаметром 10 мкм. В качестве добавки, интенсифицирующей горение, использовали порошок бора аморфного коричневого ТУ 2112-001-49-53-4204-2003, представленного частицами каплевидно-шарообразной формы среднечисленным диаметром 2 мкм.

Соотношение компонентов выбрали исходя из диаграммы состояния системы Ni-Al как крайние точки области технически применимых составов, в которых СВС может быть реализован [5].

Смеси исходных порошков готовили путем сухого смешения в шаровой вибромельнице. Для исследования СВС использовали неуплотненные смеси порошковых компонентов и отпрессованные из них в жесткой пресс-форме цилиндрические образцы (давление прессования = 1100 кг/см<sup>2</sup>).

Эксперименты проводили в камерной печи КО-14 путем одномоментного помещения в разогретую до заданной температуры рабочую зону исследуемых образцов. Момент начала СВС определяли визуально по воспламенению образцов (фиксировали момент вспышки). Результаты экспериментов представлены в таблице.

Таблица

Температура начала СВС интерметаллидов Ni-Al

№ п / п	Состав исследованных смесей	Содержание компонентов, % масс.			Степень уплотнения образца	Температура начала СВС, °С					
		Ni	Al	B		360	460	560	660	760	860
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Никарб.-АПА-ВЧ-1(NiAl3)	40	60	-	P=1100кг/см <sup>2</sup>					+	
					насып. сост.	-	-	-	-	-	-
2	Никарб.-АПА-ВЧ-1-Ваморф.кор.(NiAl3)	40	60	1	P=1100кг/см <sup>2</sup>					+	
					насып. сост.	-	-	-	-	-	-
3	Никарб.-Al АСД-4(NiAl3)	40	60	-	P=1100кг/см <sup>2</sup>					+	
					насып. сост.						+
4	Никарб.-AlАСД-4-Ваморф. кор.(Ni3Al)	40	60	1	P=1100кг/см <sup>2</sup>					+	
					насып. сост.	-	-	-	+		
5	Никарб.-АПА-ВЧ-1(Ni3Al)	87	13	-	P=1100кг/см <sup>2</sup>						+
					насып. сост.	-	-	-	-	-	-
6	Никарб.-АПА-ВЧ-1-Ваморф. кор.(Ni3Al)	87	13	1	P=1100кг/см <sup>2</sup>				+		
					насып. сост.	-	-	-	+		
7	Никарб.-Al АСД-4(Ni3Al)	87	13	-	P=1100кг/см <sup>2</sup>				+		
					насып. сост.	-	-	-	-	-	-
8	Никарб.-Al АСД-4-Ваморф. кор.(Ni3Al)	87	13	1	P=1100кг/см <sup>2</sup>				+		
					насып. сост.	-	-	-	+		



**Заключение.** Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- СВС во всех исследованных смесях порошков независимо от степени уплотнения, химического и гранулометрического состава исходных компонентов начинается при температуре более  $660^{\circ}\text{C}$ . Это наводит на мысль о том, что лимитирующей стадией процесса является расплавление алюминия. При расплавлении (фазовый переход первого рода) алюминия скачкообразно на 13% увеличивается объем частиц порошка алюминия, при этом растрескивается оксидная пленка (затрудняющая контакт взаимодействующих металлов и блокирующая процесс синтеза). Вновь образовавшаяся *in statu nascendi* поверхность частиц алюминия активно вступает в контакт с поверхностью частиц никеля, обеспечивая протекание реакции в режиме хорошо наблюдаемого теплового взрыва;

- в спрессованном виде все смеси Ni-Al подвергаются СВС-процессу при температуре  $660^{\circ}\text{C}$  и более. Это объясняется увеличением в результате прессования поверхности взаимодействия реагентов;

- СВС смесей компонентов в неуплотненном (насыпном) состоянии на основе алюминиевого порошка марки ПАВЧ начинается при более высоких значениях температуры по сравнению с порошком на основе АСД-4, что связано с большей дисперсностью последнего и меньшим содержанием основного вещества в нем.

Полученные результаты позволяют оптимизировать условия получения интерметаллидов Ni-Al методом СВС.

### Список литературы

1. Ozdemir, O. A study on NiAl produced by pressure-assisted combustion syntheses / O. Ozdemir, S. Zeytin, S. Bindal // Vacuum, 2010. – Vol. 84. – P. 430–437.
2. Цуи, Х.Ж. Сценарии структурообразования в волне горения системы NiAl с упрочняющими добавками / Х.Ж. Цуи, А.А. Григорьевская, П.Ю. Гуляев // Вестник Югорского государственного университета, 2020 Выпуск 2(57). – С. 41–49.
3. Ильин, А.П. Об активности порошков алюминия / А.П. Ильин, А.А. Громов, Г.В. Яблуновский // Физика горения и взрыва – Томск: НИИ высоких напряжений Томского политехнического университета 2001. – Т. 37, №4.
4. Алюминиевый информационный портал [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://aluminium-guide.com/temperatura-plavleniya-alyuminiya-i-alyuminievyx-splavov/>
5. Самсонов, Г.В., Тугоплавкие соединения / Г.В. Самсонов, И.М. Веницкий – М.: Металлургия, 1976. – 560 с.

## ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ МОЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТРИХЛОРМАСЛЯНОЙ КИСЛОТЫ В МЕТАНОЛЬНОМ РАСТВОРЕ НА БЕСКОНЕЧНОЕ РАЗВЕДЕНИЕ

**Стецик В.В.**, канд. хим. наук, доц., **Матвиенко О.А.**  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ  
*v.stetsik@donnu.ru*

**Введение.** Экстраполяция молярных электропроводностей слабых кислот и оснований, многие годы считавшаяся невозможной [1, с. 63], была реализована в недавних работах преимущественно применительно к водным растворам [2]. Ранее была высказана точка зрения о возможности такой экстраполяции в растворах других амфипротных растворителей. В данной работе проведена экстраполяция молярной электропроводности слабой кислоты в метанольном растворе. Для проведения корреляции применяли математическую компьютерную программу CurveExpert.

**Основная часть.** На предварительном этапе определяем константу электролитической диссоциации трихлормасляной кислоты в метаноле. Используя данные из работы [3, с. 49], определяем константу диссоциации по методу Крауса-Брея [4, с. 43]. Численные данные для определения константы приведены в таблице 1. С данными оперируем как с точными числами.

Таблица 1

Данные для построения зависимости  $1/\Lambda$  от  $C \cdot \Lambda$

$C \cdot \Lambda$	$1/\Lambda$
0.063	1.58730
0.44	1.13636
0.31	0.806452
0.021875	0.571429

Строим графическую зависимость  $1/\Lambda$  от  $C \cdot \Lambda$  (рис. 1). Она выражается уравнением  $y = 0.038582 + 24.689x$ . Из этой зависимости (коэффициент корреляции 0.99980) показатель константы диссоциации, округленный до сотых, равен 5.96. Этот же показатель константы определяли другим способом. По данным точки с наименьшей концентрацией он равен 5.98. Это хорошее совпадение, но для дальнейшей работы используем значение, полученное из данных по нескольким точкам (5.96).

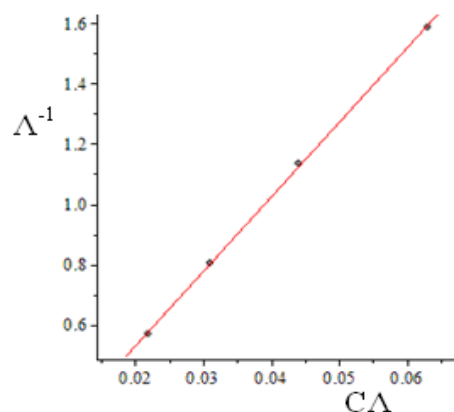


Рис. 1. Зависимость  $1/\Lambda = \Lambda^{-1}$  от  $C^*\Lambda$  трихлормасляной кислоты в метаноле

По данным точки с наименьшей концентрацией кислоты ионная сила раствора равна примерно 0.0001 М, при столь малой ионной силе концентрационное значение константы диссоциации близко к термодинамическому. В дальнейших вычислениях значениями всех констант оперируем, как с точными числами.

Вычислим реальную (учитывающую влияние самоионизации растворителя на диссоциацию слабой кислоты при  $C \rightarrow 0$ ) молярную предельную электропроводность данной кислоты в метанольном растворе, но в известной формуле (1) для воды [5, с.221] ионное произведение надо заменить на константу автопротолиза метанола ( $pK_s = 17$ ). Реальная  $\Lambda^0 = 0.99713 \cdot 193 = 192.45 \text{ См} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$  (в данной работе молярная электропроводность выражается только в этих единицах).

$$\Lambda^0 = \alpha_0 (\lambda_+^0 + \lambda_-^0) = \frac{K}{K + \sqrt{K_w}} (\lambda_+^0 + \lambda_-^0). \quad (1)$$

После предварительных этапов экстраполируем по формуле (2):

$$1/\Lambda^m = 1/(\Lambda^0)^m + C^k/V \quad (2)$$

В формуле (1) в общем случае  $m$  может принимать значения от 0.5 до 1.5, в данной работе принимаем  $m = 1.0$ . Строим зависимость  $1/\Lambda$  от  $C^k$ . В оптимальном случае на оси ординат отсекается отрезок, равный  $1/\Lambda^0$ , но этот случай надо еще создать. Данные для построения зависимости приведены в таблице 2. Целью работы является провести оптимальную экстраполяцию молярной электропроводности на  $C \rightarrow 0$ , то есть экстраполяцию с таким значением  $k$ , при котором на оси ординат отсекается  $1/\Lambda^0$ , а не иное значение. В конце подбора для ускорения можно провести интерполяцию. На рис. 2 приведена оптимальная экстраполяция.

**Заключение.** Показана возможность довольно дальней (более, чем на два порядка) экстраполяции на  $C \rightarrow 0$  молярной электропроводности слабых кислот в метанольном растворе, для слабых оснований можно ожидать такую же возможность. Вопросы экстраполяции электропроводности слабых кислот и оснований и границах применимости к ним положения об аддитивности

Данные для построения зависимости  $1/\Lambda$  от  $C^{0.49268}$

$C^{0.49268}$	$1/\Lambda$
0.321603	1.58730
0.228564	1.13636
0.162442	0.806452
0.115448	0.571429

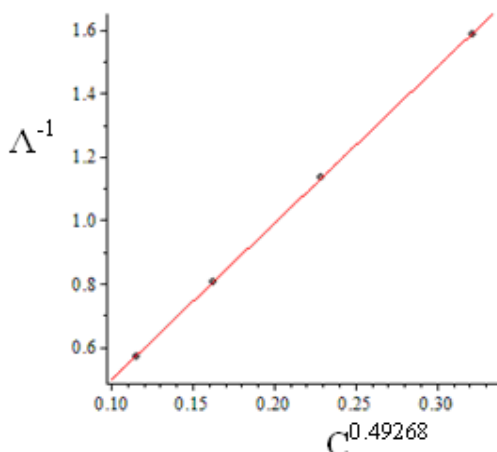


Рис. 2. Зависимость  $\Lambda^{-1}$  от  $C^{0.49268}$  трихлормасляной кислоты в метаноле

электропроводности при  $C \rightarrow 0$  являются взаимосвязанными и должны рассматриваться комплексно. Нет экспериментальных или теоретических оснований для применения закона Кольрауша аддитивности электропроводности при  $C \rightarrow 0$  к достаточно слабым кислотам и основаниям в амфипротных растворителях. Их предельная электропроводность в воде и других амфипротных растворителях выражается формулой типа (1) и основывается она на надежной основе в виде закона действующих масс.

### Список литературы

1. Миомандр Ф., Садки С., Одебер П., Меалле-Рено Р. Электрохимия.– М.: Техносфера, 2008. – 360 с.
2. Стецик В. В. О возможности экстраполяции молярных электропроводностей слабых кислот и оснований на бесконечное разведение // Global science: сб. статей II Международной научно-практич. конф., состоявшейся 5 июля 2023 г. – Пенза: МЦНС “Наука и Просвещение”. – 2023. – С. 12–20.
3. Добош Д. Электрохимические константы. – М.: Мир, 1980. – 365 с.
4. Конюхов В. Ю., Гребенник А. В., Крюков А. Ю., Воробьева О. И. Сборник задач по физической химии. Электрохимия, химическая кинетика: учебное пособие. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2021. – 224 с.
5. Стецик В. В. Расчет и анализ ионных равновесий в аналитической химии: учебное пособие. – 4-е изд. – Донецк: ДонНУ, 2021. – 257 с.

## ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

*Стрельникова О.Ю.*, канд. хим. наук, доц.,

*Бухарцев В.Д., Горяников Е.В.*

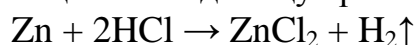
ФГКВООУ ВПО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,  
г. Воронеж, РФ

Коррозия наносит значительный урон авиационной технике. Наиболее опасными в коррозионном отношении являются заклепочные и сварные швы, щели, застойные участки, контакты разнородных металлов. Детали, находящиеся внутри конструкции, более подвержены коррозии, чем наружные, что объясняется длительной задержкой влаги внутри авиационной техники. В трудных в коррозионном отношении условиях находятся также ниши аккумуляторных батарей, детали двигателей.

В системах с постоянным или мало обновляемым объемом коррозионной среды применяют ингибиторную защиту. Действие ингибиторов обусловлено изменением состояния поверхности металла вследствие адсорбции ингибитора или образования с катионами металла труднорастворимых соединений. В качестве ингибиторов используют неорганические соединения (например, хроматы, нитриты, молибдаты) и органические вещества, содержащие атомы S, N, P (например, тиомочевина, уротропин и др.)

Цель данной работы – проведение оценки влияния ингибиторов на скорость коррозии цинка в соляной кислоте. В качестве ингибиторов использованы: неорганический ингибитор – бихромат калия  $K_2Cr_2O_7$  и органический ингибитор – уротропин (гексаметилентетрамин)  $(CH_2)_6N_4$ .

О скорости коррозии цинка в соляной кислоте можно судить по количеству водорода, выделяющегося в единицу времени.



Среднюю скорость коррозии ( $K_o$ ) рассчитывают по формуле

$$K_o = \frac{V}{\tau}, \quad (1)$$

где  $K_o$  – скорость коррозии без ингибитора, мл/мин;  $V$  – объем водорода, мл;  $\tau$  – время реакции, мин.

Ингибиторный эффект ( $\gamma$ ) показывает, во сколько раз ингибитор уменьшает скорость коррозии и вычисляется по формуле

$$\gamma = \frac{K_o}{K}, \quad (2)$$

где  $K$  и  $K_o$  – скорость коррозии с ингибитором и без него.

Степень защиты от коррозии ( $Z$ ) вычисляется по формуле

$$Z = \frac{K_o - K}{K_o} \cdot 100\%, \quad (3)$$

Полученные результаты представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1

Результаты исследования коррозии цинка без ингибитора

Время протекания реакции, $\tau$ , мин	Объем выделившегося водорода, $V$ , мл	Скорость коррозии, $K_o$ , мл/мин
0,5	12,0	24,0
1,0	22,0	22,0
1,5	33,0	22,0

Таблица 2

Результаты исследования коррозии цинка в присутствии ингибитора  $K_2Cr_2O_7$

Время протекания реакции, $\tau$ , мин	Объем выделившегося водорода, $V$ , мл	Скорость коррозии, $K$ , мл/мин	Ингибиторный эффект, $\gamma$	Степень защиты от коррозии, $Z$ , %
0,5	4,0	8,0	3,0	66,7
1,0	6,0	6,0	3,7	72,7
1,5	8,0	5,3	4,2	75,9

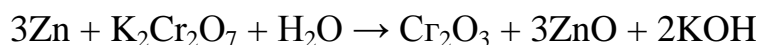
Таблица 3

Результаты исследования коррозии цинка в присутствии ингибитора  $(CH_2)_6N_4$

Время протекания реакции, $\tau$ , мин	Объем выделившегося водорода, $V$ , мл	Скорость коррозии, $K$ , мл/мин	Ингибиторный эффект, $\gamma$	Степень защиты от коррозии, $Z$ , %
0,5	2,0	4,0	6,0	83,3
1,0	3,5	3,5	6,3	84,1
1,5	5,0	3,3	6,7	85,0

В среднем ингибиторный эффект и степень защиты от коррозии составляют соответственно: в присутствии  $K_2Cr_2O_7$  –  $\gamma = 3,6$ ,  $Z = 71,8$  %, в присутствии  $(CH_2)_6N_4$  –  $\gamma = 6,3$ ,  $Z = 84,1$  %. Уротропин является более эффективным ингибитором коррозии цинка в кислой среде. Механизм защитного действия уротропина адсорбционно-экранирующий, он образует комплексное соединение с цинком состава  $ZnCl_2 \cdot 2(C_6H_{12}N_4) \cdot 10H_2O$ , что облегчает его адсорбцию на поверхности металла.

Бихромат калия является пассиватором коррозии, он замедляет анодную реакцию окисления металлов за счет образования на металлической поверхности оксидной пленки. Образование оксидов описывается реакцией:



Однако концентрация такого неорганического ингибитора не должна быть ниже определенной величины, иначе пассивация металла может не наступить и ингибитор из замедлителя коррозии превратится в ее стимулятор.

УДК 54-39:543.429.23:544.032.72

## МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АССОЦИАТОВ ТРЕТ-БУТИЛГИДРОПЕРОКСИДА

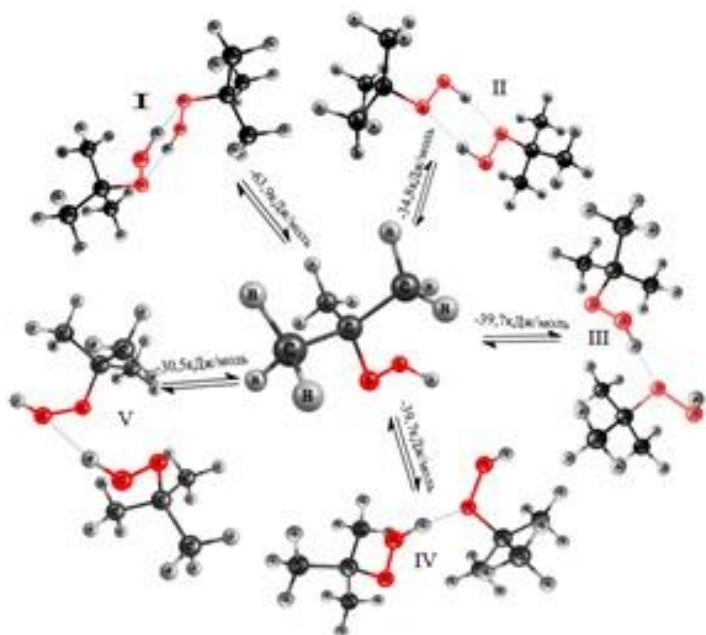
**Туровский Н.А.**<sup>1</sup>, канд. хим. наук, доц.,  
**Туровская М.К.**<sup>2</sup>, канд. хим. наук,  
**Сямуиллина А.А.**<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», г. Донецк, РФ

<sup>2</sup>ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко», г. Донецк, РФ  
*na.turovskij@gmail.com*

Гидропероксидные соединения – это эффективный и доступный источник свободных радикалов для процессов полимеризации, окисления органического сырья, для модификации поверхности углеродных наноматериалов. Также они являются промежуточными или конечными продуктами многих химических и биохимических окислительных процессов.

Ограниченность возможностей экспериментальных методов изучения влияния ассоциации на молекулярную геометрию и электронную структуру молекулярного фрагмента  $\text{COOH}$  гидропероксида обуславливает применение в этой области *ab initio* и DFT методов компьютерной химии. Реакционным центром гидропероксидов является перекисная связь  $\text{O-O}$ , поэтому критерием выбора метода квантово-



химического расчета является воспроизведение структурных параметров фрагмента COOH. В работе обсуждается структурный дизайн самоассоциатов *трет*-бутилгидропероксида (ROOH). Квантово-химические расчеты ROOH и его димеров (I-V) выполнены с использованием программного комплекса на уровне теории MP2/6-31G(d,p). Проведена оптимизация исследуемых объектов с целью получения равновесной молекулярной структуры, а также проведен последующий расчет частот гармонических колебаний.

Таблица

Параметры молекулярной структуры ROOH и ассоциатов (I-V)

Структура	q(O <sub>α</sub> ),e	q(O <sub>β</sub> ),e	qH,e	Длина связи, Å		COOH, град.	r <sub>O...H</sub> , Å
				O-O	O-H		
ROOH	-0.395	-0.376	0.369	1.472	0.969	115.5	-
I	-0.456	-0.414	0.429	1.476	0.983	113.2	1.838
	-0.456	-0.414	0.429	1.476	0.983	-113.2	
II	-0.459	-0.400	0.422	1.481	0.977	179.9	1.876
	-0.459	-0.400	0.422	1.481	0.977	179.9	
III	-0.402	-0.436	0.430	1.471	0.979	-101.5	1.851
	-0.431	-0.358	0.374	1.474	0.972	-114.6	
IV	-0.416	-0.410	0.435	1.471	0.979	-101.5	1.918
	-0.424	-0.363	0.375	1.474	0.972	-114.6	
V	-0.408	-0.401	0.410	1.471	0.975	-106.7	2.133
	-0.376	-0.405	0.376	1.466	0.971	80.2	

Образование ассоциатов I-V приводит к перераспределению электронной плотности на атомах фрагмента COOH. Этот эффект обусловлен образованием межмолекулярных водородных связей -O-H...O-. Наблюдается изменение длины связи O-H, увеличение зарядов на атомах водорода и кислорода гидропероксидной группы. В димере I и линейных димерах III-V конформация гидропероксидного фрагмента эквивалентна конформации COOH-фрагмента гидропероксида.

Наибольшая структурная реорганизация COOH-фрагмента наблюдается при образовании циклического димера II. Конформация гидропероксидного фрагмента COOH изменяется от клинальной до антиперипланарной. При этом, наблюдается изменение зарядов на атомах -O-H...O- и увеличение длины связи O-O, что обуславливает низкий тепловой эффект реакции димеризации ( $\Delta_r H^\circ$ ) по сравнению с другими ассоциатами.



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРВИЧНОЙ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА УГЛЕЙ РАЗНОГО ГТВ

*Шевкопляс В.Н.*, канд. хим. наук,

*Семенова Р.Г.*, канд. хим. наук,

*Макарова Р.А.*, канд. хим. наук

ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко»,

г. Донецк, РФ

*vladim.shevk@yandex.ru*

**Введение.** Для определения оптимальных путей переработки твердых топлив важно найти взаимосвязь между содержанием серы и основными свойствами углей. Следовательно, одной из основных задач углехимии является определение вклада общей и органической серы в основной показатель технического анализа – выход летучих продуктов из углей низкой и средней стадии метаморфизма, но разного генетического типа по восстановленности (ГТВ).

**Основная часть.** Ранее авторами было показано, что жидкие и газообразные продукты, полученные из сернистых углей при полукоксовании, являются ценным сырьем для получения химических продуктов. [1-2]. На основании полученных данных были определены структурные показатели, позволяющие оценить целесообразность переработки углей методом полукоксования [3]. Для оптимизации предложенного метода был предложен новый подход по оценке качества углей, основанный на получении и исследовании первичных продуктов их пиролиза при оптимальной температуре  $T_{max}$ , определенной методом дериватографии, и которая является характеристической для конкретного угля, то есть определяется его структурой [4].

Целью данной работы было проведение сравнительного физико-химического анализа первичной смолы пиролиза (температура  $T_{max}$ ), полученной из углей одинакового марочного состава, но разного ГТВ.

В качестве объектов исследования использовали угли Донецкого бассейна (марки Д, Г, Ж) разного ГТВ.

Таблица 1

Характеристика исследованных углей, разного ГТВ

Образец	Д <sub>2</sub>	Д <sub>4</sub>	Г <sub>3</sub>	Г <sub>1</sub>	Жк <sub>8</sub>	Жл <sub>1</sub>
Тип угля	«в»	«а»	«в»	«а»	«в»	«а»
C <sup>daf</sup> , %	76,2	79,0	82,2	82,7	85,4	86,1
S <sup>d</sup> <sub>t</sub> , %	5,6	1,0	2,3	1,0	4,1	1,1

Согласно таблице 1, угли восстановленного типа «в» характеризуются повышенным содержанием серы ( $S^d_t$ ), а угли

маловосстановленного типа «а» более высоким содержанием углерода ( $C^{daf}$ ).

Количественный подсчет смолы показал, что угли марки Д и Г (тип «в») характеризуются повышенным выходом смолы по сравнению с углями (тип «а»); для пары углей марки Ж такая тенденция не выявлена. Установлено, что выход смолы (тип «в») имеет тенденцию к резкому снижению от угля марки Д до Ж, тогда как выход смолы (тип «а») снижается незначительно с увеличением  $C^{daf}$  в угле.

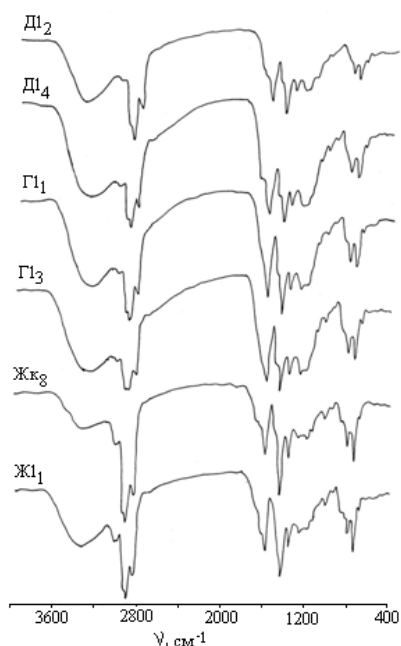


Рис. 1 ИК-спектры первичной смолы, полученной при пиролизе углей разного ГТВ

Из рис. 1 видно, что прослеживается закономерное увеличение интенсивности полос поглощения при 810 и 750  $cm^{-1}$  в смоле углей в ряду  $C^{daf}$ . При этом смола, полученная из углей типа «в» имеют более высокую интенсивность для полос поглощения при 2920 и 1450  $cm^{-1}$  ( $C_{ал}-H$  связь) и при 810  $cm^{-1}$  ( $C_{ар}-H$  связь). Высокая интенсивность полос в области спектра 1270-1100  $cm^{-1}$  и при 1030  $cm^{-1}$  указывает на наличие в смоле (тип «а») большое содержание  $C-O$  связи фенолов, эфиров и карбоксильных групп. Определено, что, смола, полученная из углей типа «в» имеет более высокую интенсивность полосы при 1700  $cm^{-1}$  ( $C-O$  связь карбонила), тогда как интенсивность полосы при 1500  $cm^{-1}$  ( $C=C$  связь) выше для смолы, полученной из углей типа «а».

Высокая интенсивность полосы при 1600  $cm^{-1}$  и полос при 870-750  $cm^{-1}$  (валентные колебания  $C_{ар}-H$  связь) подтверждает наличие в смоле ароматических фрагментов. Все спектры смол в области 870-750  $cm^{-1}$  представлены тремя максимумами при 870, 810 и 750  $cm^{-1}$ , что указывает на присутствие, соответственно, одного изолированного, двух-, трех- и четырех соседних атомов ароматического водорода (рис. 2). Полосы поглощения в области спектра 1270-1200  $cm^{-1}$  и при 1100  $cm^{-1}$  свидетельствует, прежде всего, о наличии  $C-O$  связи фенолов, эфиров и карбоксильных групп, содержание которых в составе всех смол значительное. Область спектра 960-690  $cm^{-1}$  характеризуется наличием внеплоскостных деформационных колебаний  $C_{ар}-H$  связи в кольце с различной степенью замещения.

Из рис. 2 видно, что смолы, полученные из углей типа «а», представлены, в большей степени, одним ароматическим кольцом (8,2-6,0 м.д.), содержащими  $CH_2=$  и  $CH-$  группы в длинных алифатических цепях (3,0-2,0 м.д.). Первичная смола (тип «а» и «в») содержит сигналы

химических сдвигов в диапазоне 2,0-1,5 и 1,5-1,0 м.д., которые указывают на наличие длинных алифатических цепей, содержащих метиленовые и метиновые группы.

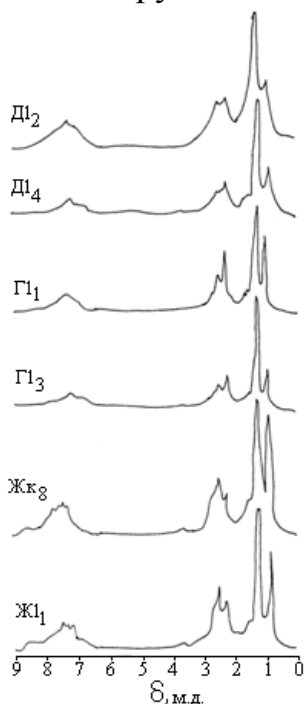


Рис. 2  $^1\text{H}$  ЯМР-спектры первичной смолы, полученной при пиролизе углей разного ГТВ

отношением  $E_x/E_{1600}$  для полос поглощения при  $2920\text{ см}^{-1}$  ( $\text{C}_{\text{ал}}\text{-H}$  связь) и при  $870\text{-}750\text{ см}^{-1}$  ( $\text{C}_{\text{ар}}\text{-H}$  связь).

Прослежено за изменением содержания ароматических ( $\text{H}_{\text{ар}}$ ) и алифатических ( $\text{H}_{\text{ал}}$ ) протонов в диапазоне химических сдвигов 9,0-0,3 м.д. и рассчитано отношение  $\text{H}_{\text{ар}}/\text{H}_{\text{ал}}$  в смоле углей разного ГТВ.

### Список литературы

1. Kulakova V. Characterization of sulfur coal-derived liquids as a source of hydrocarbons to produce chemicals and synthetic fuels / V. Kulakova, L. Butuzova, J.M. Andrade, V. Shevkoplyas, O. Turchanina // Fuel. – 2016. – Vol. 184. – P. 314-324.
2. Бутузова Л.Ф. Перспективы получения и использования полукоксового газа из сернистых углей / Л.Ф. Бутузова, В.Н. Шевкопляс, В.О. Кулакова, В.В. Ошовский, Г. Н. Бутузов // Матер. 2-ой Междун. науч.-практ. конф. «Инновационные перспективы Донбасса», 25-26 мая 2016 г. Донецк. – 2016. – Т. 4. – С. 11-15.
3. Бутузова Л.Ф. Структурные показатели для оценки целесообразности переработки углей методом полукоксования / Л.Ф. Бутузова, В.А. Колбаса, Г.Н. Бутузов, В.Н. Шевкопляс // Вестник ДонНТУ. – 2018. – № 1(11). – С. 53-59.
4. Шевкопляс В.Н., Лящук С.Н., Бутузова Л.Ф. Оценка качественных характеристик углей по данным дериватографии и пиролиза // Вопросы химии и хим. технологии. – 2005. – № 3. – С. 180-184.

Обнаружено, что интенсивность сигналов с химическими сдвигами протонов в области 9,0-6,0 м.д. и 3,0-2,0 м.д. усиливается одновременно с увеличением содержания  $\text{C}^{\text{daf}}$  в угле и свидетельствует об изменениях в их структурно-групповом составе.

Согласно рис. 2 рассчитанная величина  $\text{H}_{\text{ар}}/\text{H}_{\text{ал}}$  в смоле растет с увеличением содержания  $\text{C}^{\text{daf}}$  в угле. Определено, что смола, полученная из углей маловосстановленного типа «а» более ароматичная, по сравнению со смолой, полученной из углей восстановленного типа «в».

**Заключение.** Установлено, что угли восстановленного типа «в» характеризуются большим выходом первичной смолы по сравнению с углями маловосстановленного типа «а» (марка Д и Г).

Показано, что смола, полученная из углей типа «в» характеризуются более высоким

# СОДЕРЖАНИЕ

## МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

### *Механика твердого тела*

<i>Зыза А.В.</i> О новом частном решении класса С.А. Чаплыгина в задаче о движении гири в магнитном поле .....	5
<i>Коносевич Б.И., Коносевич Ю.Б., Мозалевская Г.В.</i> Компьютерный анализ бестоковой модели синхронного электромотора .....	8
<i>Мазнев А.В., Белоконь Т.В.</i> Исследование движений главной оси эллипсоида инерции твердого тела в решении А.И. Докшевича .....	11
<i>Мазнев А.В., Горбунова Ю.С.</i> Один случай прецессии в задаче о движении динамически симметричного твердого тела с неподвижной точкой .....	14
<i>Опарина Е.В.</i> Кинематические характеристики точки в сложном движении .....	17
<i>Опарина Е. В.</i> Исследование траектории и скорости манипулятора .....	20
<i>Платонова Е.С.</i> Алгебраические инвариантные соотношения в частном решении уравнений Кирхгофа-Пуассона .....	23
<i>Щепин Н.Н.</i> Исследование положения относительного равновесия замкнутой системы твердых тел .....	25

### *Механика деформируемого твердого тела*

<i>Авдюшина Е.В., Сошина Е.И.</i> Кручение многосвязного анизотропного цилиндра .	29
<i>Богачев И.В.</i> Об использовании моделей дробного порядка при исследовании установившихся колебаний вязкоупругих тел .....	32
<i>Бондаренко Н.С.</i> Исследование НДС трансверсально-изотропной пластины при действии локальной силы на базе обобщенной теории в варианте $\{m,n\}$ -аппроксимации.....	34
<i>Бондаренко Н.С.</i> Построение фундаментальной матрицы перерезывающих сил для ортотропной пластины при наличии «гипотетического» модуля сдвига на базе обобщенной теории.....	37
<i>Глухов А.А., Сторожев В.И., Фоменко М.В.</i> Влияние двойной экспоненциальной неоднородности на энергетические эффекты распространения волны Лява в однородном изотропном слое на функционально-градиентном трансверсально-изотропном полупространстве .....	40
<i>Глушанков Е.С., Мироненко А.Б.</i> Определение напряженного состояния многосвязной полуплоскости или полосы с помощью интегралов типа Коши .....	43
<i>Глуценко А.В., Дубяго Л.В., Пачева М.Н., Сторожев В.И.</i> Нормальные окружные волны изгиба в частично лежащей на упругом основании кольцевой пластине .....	46
<i>Гольцев А.С.</i> Компьютерное исследование влияния теплообмена на возмущение температуры в пластине с теплоизолированным разрезом .....	49

<i>Калоеров С.А., Полянский М.А.</i> Исследование вязкоупругого состояния пьезопластики с отверстиями и трещинами.....	52
<i>Калоеров С.А., Сероштанов А.В.</i> Задача изгиба тонкой электромагнитоупругой плиты с периодическим рядом отверстий или трещин.....	55
<i>Карасев Д.С., Малютина Т.П., Сторожев С.В.</i> Интегрирование уравнений распространения электроупругих волн релеевского типа в полупространстве функционально-градиентной пьезокерамики с двойной экспоненциальной неоднородностью .....	58
<i>Курочкина В.А., Холодова С.Н.</i> Механические свойства железобетонных колонн при осевом сжатии .....	61
<i>Мироненко А.Б., Глушанков Е.С.</i> Исследование напряженного состояния изотропной пластинки с эллиптическими отверстиями и трещинами .....	64
<i>Мирончук А.И.</i> Решение задачи об изгибе многосвязной анизотропной плиты с жестко подкрепленными отверстиями.....	67
<i>Моисеенко И.А., Моисеенко В.А., Дзундза А.И., Мельничук Н.Ю.</i> Базисные решения для модели распространяющихся изгибных волн в протяженных цилиндрах с учетом трехфакторного функционального закона радиальной неоднородности изотропного материала.....	70
<i>Нескородев Р.Н.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния анизотропного массива с вертикальной выработкой .....	73
<i>Полянский Д.Д., Номбре С.Б., Сторожев С.В.</i> Нечетко-множественные оценки величин термических напряжений в породном массиве со скважинами нагнетания прогретого пара.....	76
<i>Рогов Н.В., Сычев С.В.</i> Исследование изменения композиционного материала при сверхнизкой температуре.....	79
<b><i>Информационно-документационное обеспечение управления</i></b>	
<i>Балдынюк А.И.</i> Цифровой документооборот как инструмент импортозамещения на предприятиях пищевой отрасли .....	82
<i>Гайдарь Е.В.</i> Информационное обеспечение управленческого контроля на предприятии.....	85
<i>Коробейникова К.В.</i> О цифровизации оказания государственных услуг .....	88
<i>Мащенко Н.Е.</i> Формирование архивной среды как элемента социокультурного пространства.....	91
<i>Митрохина Е.А.</i> Минимизация рисков принятия решений при информационной асимметрии .....	94
<i>Пономаренко Н.Ш.</i> Минимизация рисков принятия решений при информационной асимметрии .....	96
<i>Филатова Я.В., Харакиоз А.В.</i> Использование современных информационных технологий в органах записи актов гражданского состояния российской федерации .....	99

## **Математический анализ и дифференциальные уравнения**

<i>Будыка В.С.</i> О самосопряженности некоторого класса блочных якобиевых матриц.....	102
<i>Krasnoschekikh G.V., Volchkov Vit.V.,</i> An analogue of the john uniqueness theorem on the Bessel-Kingmann hypergroup .....	104
<i>Дюбо Е.Н.</i> Особенности решения интегральных уравнений с использованием современного программного обеспечения.....	105
<i>Заставный В.П.</i> Критерий экстремальной функции в неравенствах для периодических функций .....	108
<i>Иванов А.Ю., Мельник А.-В.В.</i> О методе построения магических квадратов при помощи латинских квадратов, имеющих ортогональные трансверсали .....	110
<i>Лиманский Д.В.</i> Априорные оценки для систем минимальных дифференциальных операторов в шкале анизотропных пространств Соболева.....	112
<i>Манов А.Д.</i> Об одной экстремальной задаче для положительно определённых функций с носителем в шаре .....	113
<i>Машаров П.А., Власенко И.С.</i> О функциях с нулевыми интегралами по равнобедренным треугольникам.....	116
<i>Оридорога Л.Л., Агибалова А.В.</i> Отсутствие неотрицательности некоторых матриц Шенберга.....	118
<i>Павлов А.Л.</i> О регуляризации обобщенных функций .....	121

## **Прикладная математика, прикладная информатика и теория систем управления**

<i>Асеев И.С., Шевцова Е.В.</i> Разработка системы распознавания автомобильных номерных знаков на основе нейросетей.....	124
<i>Белов Е.О, Пушнина И.В.</i> Анализ процесса смешивания при производстве изделий из резины .....	126
<i>Бережной К.А., Ганцевский А.В.</i> Анализ существующих станков с ЧПУ .....	128
<i>Горбачева О.И., Григорьев С.В.</i> Роль облачных технологий в системе дистанционного обучения .....	131
<i>Дзисяк В.В., Шевцова Е.В.</i> Развитие и усовершенствование модуля автоматизированной системы оценивания «Литературный конкурс» АРМ секретаря правления ТС «Союз писателей ДНР» .....	134
<i>Дивин Е.Н.</i> Подготовка обучаемых высшей школы в вопросах анализа финансовых потоков с помощью прикладного программного обеспечения ..	137
<i>Жмыхова Т.В., Котова О.В.</i> Применение статистических методов при оценке опережающих индикаторов.....	140
<i>Заргарян Е.В., Морозов Н.В.</i> Необходимость разработки системы обнаружения утечек на нефтепроводе .....	141
<i>Заргарян Е.В., Смирнова К.А.</i> Анализ методик прогнозирования температуры резки.....	144
<i>Заргарян Е.В., Панов М.А.</i> Анализ сушки зерна вентиляцией и теплом.....	147

<i>Золотая А.В., Шевченко В.В.</i> Применение методов математической статистики для анализа и прогнозирования численности населения .....	150
<i>Иванченко Е.Н.</i> Использование математических закономерностей, как одно из инновационных введений в курсе изучения генетики человека при подготовке специалистов среднего медицинского звена.....	153
<i>Истратова Е.Е., Кожевников А.Н., Ласточкин П.В.</i> Исследование зависимости коэффициента износа опор линий электропередачи от периода эксплуатации .....	156
<i>Касимов А.В, Пушнина И.В.</i> Плюсы и минусы пневматической транспортировки сыпучих веществ .....	159
<i>Кислинский Е.К., Рыбалко Л.А.</i> Разработка криптосистемы защиты информации с использованием алгоритма AES и шифров сложных замен .....	162
<i>Коваль К.В., Григорьев С.В.</i> Система управления учета сделок с недвижимостью	165
<i>Кожухов И.Б., Колесникова К.А.</i> Копроизведение кохопфовых полигонов .....	167
<i>Корнев С.А., Шевцов Д.В.</i> Применение нейронных сетей и машинного обучения в обработке изображений: текущие области и перспективы развития.....	170
<i>Кулеш Я.С., Григорьев С.В.</i> Разработка сайта для автоматизации управления электронной очередью в миграционной службе.....	172
<i>Павлыш В.Н., Номбре С.Б., Сторожев С.В.</i> Нечетко-множественный анализ параметрической неконтрастности в расчетных моделях релаксационных систем для импульсных технологий .....	174
<i>Палинчук Н.Ф.</i> Влияние параметров муравьиного алгоритма на точность решения задачи коммивояжера .....	177
<i>Полякова И.С.</i> Грушевидные окружности прямых и обратных операций. Математика как нестатичная наука.....	180
<i>Седых М.О., Шевцова Е.В., Блохин С.В.</i> Разработка обучающего приложения «язык SQL в СУБД MS SQL Server».....	183
<i>Сосницкая Н.Л., Халанчук Л.В.</i> Математическое моделирование призматической квантовой точки .....	184
<i>Рыбалко Л.А., Холодов Д.Ю.</i> Получение электронной цифровой подписи с помощью современных криптосистем.....	187
<i>Тимошенко Д.А.</i> Автоматизация работы регистратуры районной поликлиники на основе теории массового обслуживания .....	190
<i>Филонова Е.С.</i> Актуальность использования систем интеллектуального освещения на основе технологий Интернета вещей .....	193
<i>Холодов С.Ю., Шевцов Д.В.</i> Распознавание рукописных арабских цифр на основе нейросетевого подхода .....	196
<i>Шведюк И.Н.</i> Т – квазигруппы. их связь С (r, s, t) – инверсными квазигруппами ..	198
<i>Шевцов Д.В., Канделаки К.С.</i> Совершенствование методов и систем автоматизированного восстановления сигнала после рассинхронизации между передатчиком и приемником в измерительном оборудовании .....	201
<i>Шепеленко В.Е., Мельник А.-В.В.</i> Использование рекомендательных систем в жизни человека .....	203

## ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

### *Аналитическая химия*

<i>Афанасьев В.В., Заговора Н.В., Шавшина А.Н., Мищенко А.Г.</i> Экспресс- метод для определения концентрации компонентов смеси при тестировании барабанного гранулятора .....	206
<i>Добрыдин А.В., Шама М.А.</i> Определение таллия в биологических жидкостях и эктодермальных тканях человека.....	209
<i>Добрыдин А.В., Шама М.А., Портянов М.О.</i> Соосадительно-фотометрическое определение бериллия в шахтных водах донецкого региона.....	212
<i>Емельянова О.Е., Яценко Н.Н.</i> Определение остаточных органических растворителей в азитромицине .....	215
<i>Лисицкая Р.П., Шабельский В.С.</i> Выбор критериев реакции массива пьезосенсоров на легколетучую фракцию автомобильных бензинов.....	216
<i>Панца А.А.</i> Фармацевтическое исследование качества биологически активных добавок.....	219
<i>Рамская Е.Н., Бардасов И.Н.</i> Новый реагент для количественного определения ионов ртути (II) на основе производных пирроло[3,4-с]пиридина.....	222
<i>Рокун А. Н.</i> Оптимизация условий атомно-абсорбционного определения ртути методом холодного пара в техногенных отходах и почвах.....	225
<i>Щепина Н.Д.</i> Цветометрическое определение алюминия в водах.....	226

### *Биохимия и органическая химия*

<i>Арцебашева М.Э., Королёва С.В.; Савченко Т.М., Дяченко И.В.</i> Трёхкомпонентные синтезы и прогнозирование биологической активности производных циклоалка[с]никотинонитрила.....	228
<i>Белюсова И.А., Прокопьева Т.М., Разумова Н.Г., Котенко А.А., Михайлов В.А.</i> Влияние строения головной группы, длины алкильного «хвоста» и природы спейсера на мицеллярные эффекты катионных димерных детергентов в процессах разложения модельных аналогов экотоксикантов.....	230
<i>Веремеенко К.Г., Головашов М.М., Мамедгусейнова А.В., Моисеева И.А., Дяченко В.Д.</i> Многокомпонентный синтез замещенных циклоалка[b]тиено[2,3-е]пиридинов и перспективы их применения	233
<i>Гасило Л.В. Дедовец И.Г.</i> Анализ проблемы отделения азота в системе N <sub>2</sub> - CH <sub>4</sub> ...	235
<i>Долганов А.А., Чикава А.Р., Доценко В.В.</i> синтез и антидотная активность новых производных на основе 5-амино-3-(цианометил)-1H-пиразол-4-карбонитрила.....	238
<i>Есипов Ю.В., д-р. техн. наук, проф., Бухезна Б.Э., Черемисин А.И.</i> Анализ действия газов СО и H <sub>2</sub> S и оценивание их опасности с помощью вероятностной параметрической модели «воздействие – ослабление – восприимчивость».....	239
<i>Заречная О.М., Полякова О.Ю., Протасевич Ю.С., Михайлов В.А.</i> Особенности ковалентного связывания в молекуле триметиламин- N –оксида.....	242



<i>Иванова Е. С., Яковлева А.В.</i> Синтез производных хитозана – биополимеров, являющихся фунгицидами.....	244
<i>Котенко А.А., Хилько С.Л.</i> Влияние добавок метанола и этанола на реологические характеристики растворов дикатионного пав на границе с воздухом.....	247
<i>Кравченко Е.М., Одарюк И.Д.</i> Выделение продуктов лакказного окисления методами экстракции и хроматографии.....	249
<i>Котов А.Д., Проскурина И.К., Хахина М.Ю., Куничкина А.С.</i> Синтез и трансформации 2,1-бензизоксазолов.....	252
<i>Лысенко Е.А., Крачковская А.В.</i> Исследование взаимодействия солей тиопиран[4,3-В]индол-2-ия с аминами.....	255
<i>Перепечай А.А., Дяченко В.Д.</i> Однореакторный синтез полизамещенных 1,6-нафтиридинов из алифатических предшественников.....	257
<i>Рогатко М.И., Хилько С.Л., Макарова Р.А., Семенова Р.Г.</i> Адсорбционные характеристики растворов солей этоксиаминогуминовых кислот на границе с воздухом.....	259
<i>Рубежная Д.В., Дяченко В.Д.</i> Методы получения производных гидроксикумаринов.....	262
<i>Сукач С.М.</i> Однореакторный метод синтеза алкилпроизводных изохинолинкарбонитрила.....	265
<i>Степанова С.Ф., Семенова А.М., Доценко В.В.</i> Синтез и антидотная активность новых производных на основе 5-амино-3-(цианометил)-1Н-пиразол-4-карбонитрила.....	267
<i>Туровская М.К., Прокопьева Т.М., Гайдаш Т.С.</i> Гидропероксид-ион в процессах разложения модельных аналогов экотоксикантов. организованные микрогетерогенные системы.....	270
<i>Тюрина Т. Г., Крюк Т. В., Романенко Н. А., Сиверский А. В., Попова О. С.</i> Изучение эксплуатационных свойств пленочных материалов на основе кукурузного крахмала.....	272
<i>Харанеко А. О., Харанеко О.И.</i> Реакции гетероциклизации ди- и трикарбонильных производных индола.....	275
<i>Хомутов Е.В., Потапов В.В., Дмитриев Л.С.</i> Поверхностное натяжение крови: новый взгляд на моделирование и диагностику патологии.....	278
<i>Шелест В.С., Хилько С.Л. Макарова Р.А., Семенова Р.Г.</i> поверхностно-активные свойства растворов солей этоксиаминогуминовых кислот на границе с воздухом.....	281

### **Неорганическая химия**

<i>Белюсова Е.Е., Хомутова Е.В., Яблочкова Н.В.</i> Синтез и термические свойства изополимолибдатов некоторых элементов третьей группы.....	284
<i>Бережная Т.С., Чебышев К.А.</i> Золь-гель синтез твердых растворов в системе $\text{Pr}_6\text{O}_{11} - \text{xMoO}_3$ .....	287
<i>Берестовая А.А., Ганнова Ю.Н.</i> Низкотемпературное горение в системах $\text{MeSO}_4 - \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 - \text{NaO}_2$ как метод синтеза суперпарамагнетиков.....	289

<i>Игнатов А.В., Яблочкова Н.В., Жегайло А.О., Голубович В.С.</i> Влияние $6s^2$ -электронных пар на замещение свинца лантаном в структуре силикатованадата свинца.....	292
<i>Лозинский Н.С., Мороз Я.А.</i> ИК-спектроскопическое исследование солей кремневольфрамовой кислоты с неорганическими и органическими основаниями.....	294
<i>Рипная М.М.</i> Анализ воздействия процесса переработки свинцовых аккумуляторов на атмосферный воздух.....	297
<i>Спиридонов Н.А., Сидак И.Л., Кара А.В., Кузенко Д.В.</i> Фотокаталитические свойства гранулированного катализатора на основе диоксида титана со структурой анатаз.....	299
<i>Чебышев К.А., Пасечник Л.В.</i> Кристаллическая структура твердых растворов на основе оксида празеодима, модифицированных оксидом молибдена.....	302
<i>Шаповалов В.В., Берестовая А.А.</i> Самораспространяющийся экзотермический синтез в неорганической химии.....	304
<i>Яблочкова Н.В.</i> Получение твердых растворов на основе $Pb_{10}(GeO_4)_4(VO_4)_2$ , модифицированного лантаном.....	307

### **Физическая химия**

<i>Белая Н.И., Белый А.В., Заречная О.М., Тихонова Г.А.</i> Структура и активность Н-комплексов протокатеховой кислоты с моносахаридами в реакциях со свободными радикалами.....	309
<i>Братчун В.И., Пшеничных О.А., Беспалов В.Л., Ромасюк Е.А.</i> Модифицированные дорожные асфальтобетоны повышенной долговечности.....	312
<i>Брыксина В.А., Курьято Н.А., Айдемирова Ф.А., Байшева У.В.</i> Электрохимические исследования омегапрозола в 1н HCl.....	315
<i>Вирзум Л.В., Крылов Е.Н., Ильина А.Ю., Шаповалова Т.А.</i> Селективность электрофильного фторирования монозамещенных бензола как функция атомного электростатического потенциала реакционного центра.....	318
<i>Егоров Е.Н., Саломатина Е.В.</i> Исследование влияния полинорборнена на физико-механические, динамические и эксплуатационные свойства резины для подрельсовых прокладок.....	321
<i>Жерновников Д.Н., Дорохов А.В., Курьято Н.А., Брыксина В.А.</i> Эффективность летучего ингибитора коррозии ИФХАН-114 по отношению к стали в атмосфере животноводческих помещений.....	324
<i>Иванова Е. С.</i> Проведение сополимеризации бутилметакрилата с 3-метоксипропиламидом малеиновой кислоты.....	326
<i>Кочетова Л.Б., Кустова Т.П., Бондарь В.В., Туманов В.А.</i> Квантово-химическое моделирование механизма газофазных реакций фенилацетата с дипептидами.....	329
<i>Кравченко В.В., Алемасова Н.В.</i> Тенденции в химии активированного угля: производство и модификация.....	332
<i>Курьято Н.А., Князева Л.Г., Дорохов А.В., Брыксина В.А.</i> Использование масляных составов для противокоррозионной защиты углеродистой стали....	335

<i>Левин К.Л., Ханин С.Д., Логинов Б.А.</i> Исследование применимости графеновых экранов, модифицированных вольфрамом, для защиты космических летательных аппаратов от солнечного излучения.....	338
<i>Лихачев Е.Р., Засимский Д.А.</i> Моделирование температурной зависимости вязкости газов. Часть 3.....	341
<i>Лихачев Е.Р., Засимский Д.А.</i> Моделирование температурной зависимости вязкости газовых смесей.....	344
<i>Лыга Р. И., Михальчук В. М., Мальцева Н. А., Чабак И. Е., Глазунова В. А.</i> Зольгель метод получения эпоксидно-неорганических нанокмпозитов .....	346
<i>Любимова А.К., Лобачев В.Л., Безбожная Т.В.</i> Безметаллические системы утилизации органических сульфидов.....	348
<i>Михальчук В. М., Лыга Р. И., Глазунова В. А., Николаева О. Ф., Верескун А. Д.</i> Кремнезем как нанонаполнитель эпоксидных композитов аминного отверждения.....	351
<i>Полищук В. С., Алёхов Ю. А., Сагдеева Ф. Н., Галустьян О. В.</i> Определение температуры начала самораспространяющегося высокотемпературного синтеза интерметаллидов никеля и алюминия.....	353
<i>Стецик В. В., Матвиенко О. А.</i> Экстраполяция молярной электропроводности трихлормасляной кислоты в метанольном растворе на бесконечное разведение..	356
<i>Стрельникова О.Ю., Бухарцев В.Д., Горяников Е.В.</i> Защита от коррозии деталей и узлов авиационной техники.....	359
<i>Туровский Н.А., Туровская М.К., Сямуллина А.А.</i> Молекулярное моделирование структуры ассоциатов трет-бутилгидропероксида.....	361
<i>Шевкопляс В.Н., Семенова Р.Г., Макарова Р.А.</i> Сравнительный анализ первичной смолы пиролиза углей разного ГТВ.....	363

*НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ*

**ДОНЕЦКИЕ ЧТЕНИЯ 2023:  
ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА, ИННОВАЦИИ,  
КУЛЬТУРА И ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОСТИ**

Материалы  
VIII Международной научной конференции  
25-27 октября 2023 г.,  
г. Донецк

**ТОМ 1**

**Механико-математические, компьютерные  
и химические науки, управление**

под общей редакцией проф. *С.В. Беспаловой*

Дизайн обложки	<i>А.Ю. Гурина</i>
Технический редактор	<i>М.В. Фоменко</i>
Компьютерная верстка	<i>Н.Ю. Мельничук, Н.Д. Щепина, М.В. Фоменко</i>

---

***Адрес оргкомитета:***

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»,  
ул. Университетская, 24, г. Донецк, 283001, ДНР, РФ.  
E-mail: *science.prorector@donnu.ru*

---

Подписано в печать 16.10.2023 г.  
Формат 60×84/16. Бумага офсетная.  
Печать – цифровая. Усл.-печ. л. 21,7.  
Тираж 100 экз. Заказ № 23окт17/1.  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»  
283001, г. Донецк, ул. Университетская, 24.  
Издательство ФГБОУ ВО «ДонГУ»  
283001, г. Донецк, ул. Университетская, 22  
E-mail: *donnu.izdatelstvo@mail.ru*