

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И  
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 1/2 - 2015 (январь/февраль)

Учредитель журнала  
Общество с ограниченной  
ответственностью  
«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

**Редакционный совет**

- А.В. Царегородцев** — д.т.н., профессор Финансового университета при Правительстве Российской Федерации  
**Ю.Б. Миндлин** — к.э.н., доцент Московского государственного индустриального университета  
**М.М. Безрукова** — д.б.н., профессор, директор Института возрастной физиологии РАО  
**Н.Н. Грачев** — профессор Московского государственного института электроники и математики НИУ ВШЭ, доктор высшей ступени в области технических наук (Doctor Habilitatus)  
**А.И. Гусева** — д.т.н., профессор Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ"  
**А.Я. Качанов** — д.воен.н., профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ)  
**А.И. Квасов** — д.т.н., профессор, академик Казахской Национальной Академии естественных наук, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д.Серикбаева  
**С.М. Надежкин** — д.б.н., профессор Всероссийского НИИ селекции и семеноводства овощных культур Россельхозакадемии  
**Б.А. Прудковский** — д.т.н., профессор, эксперт по высшему образованию группы компаний "ИНТЕРСЕРТИФИКА"  
**С.Э. Саркисов** — д.м.н., профессор Научного центра акушерства, гинекологии и перинатологии  
**В.В. Сергиевский** — д.х.н., профессор Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ"  
**А.П. Симоненков** — д.м.н., профессор Института хирургии им. Вишневского РАН

Издатель: Общество с ограниченной ответственностью  
«Научные технологии»

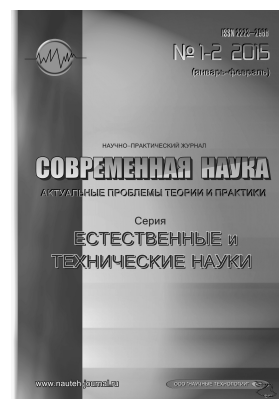
Адрес редакции и издателя:  
109443, Москва,  
Волгоградский пр-т, 116-1-10  
Тел./факс: 8(495) 755-1913  
E-mail: redaktor@nauteh.ru  
<http://www.nauteh-journal.ru>  
<http://www.vipstd.ru/nauteh>

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору  
в сфере массовых коммуникаций, связи  
и охраны культурного наследия.  
Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС 77-44912 от 04.05.2011 г.

© Современная наука:  
Актуальные проблемы теории и практики

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal



В НОМЕРЕ:

АНТЕННЫ, СВЧ УСТРОЙСТВА  
И ИХ ТЕХНОЛОГИИ  
ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ  
БЕЗОПАСНОСТЬ (ПО ОТРАСЛЯМ)  
ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТНЫХ И ТУГОПЛАВКИХ  
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ  
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ (ПО ОТРАСЛЯМ)  
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА,  
СУДОВОЖДЕНИЕ  
ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ  
и др. материалы

Журнал издается с 2011 года

Редакция: Главный редактор **А.В. Царегородцев**  
Выпускающий редактор **Ю.Б. Миндлин**  
Верстка **Д.М. Замятин**

Подписной индекс издания  
в каталоге агентства "Пресса России" — 80016

В течение года можно произвести подписку  
на журнал непосредственно в редакции

Авторы статей  
несут полную ответственность за точность  
приведенных сведений, данных и дат

При перепечатке ссылка на журнал  
«Современная наука: Актуальные проблемы  
теории и практики» обязательна

Журнал отпечатан в типографии  
ООО "КОПИ-ПРИНТ"  
тел./факс: (495) 973-8296  
Подписано в печать 10.03.2015 г.  
Формат 84×108 1/16

Печать цифровая  
Заказ № 0000  
Тираж 2000 экз.

# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## АНТЕННЫ, СВЧ УСТРОЙСТВА И ИХ ТЕХНОЛОГИИ

**А.В. Останков, И.А. Кирпичева**

Расчет параметров решетки из проводящих лент на экранированном диэлектрическом волноводе для антенны дифракционного излучения.  
*A. Ostankov, I. Kirpicheva* – Calculation of parameters of the grating from conductive strips on the screened dielectric waveguide for the antenna of diffraction radiation ..... 3

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (ПО ОТРАСЛЯМ)

**В.А. Тушавин, Е.Ю. Бобкова**

Методика квалиметрической оценки характеристик качества историографических источников.  
*V.A. Tushavin, E.Yu. Bobkova* – Technique of the qualimetric assessment of characteristics of quality of historiographic sources ..... 11

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ (ПО ОТРАСЛЯМ)

**Д.В. Замковий, С.В. Кузнецов, К.В. Мельник**

Имитационное моделирование полного жизненного цикла замкнутого контура «воздушное судно-унифицированная интеллектуальная автоматическая система управления полётом».  
*D. Zamkovi, S. Kuznetsov, K. Melnyk* – The Simulation of the Full Life Cycle of the Closed Loop «Aircraft – Unified Intelligent Automatic Flight Control System» ..... 17

## ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (ПО ОТРАСЛЯМ)

**Д.А. Барыбин, Ю.В. Абель**

Техническое расследование причин аварий на опасных производственных объектах.  
*D. Barybin, Y. Abel* – Technical investigation into the causes of accidents at hazardous production facilities ..... 27

## ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

**О.Т. Торебеков, Т.К. Джумадилов, М.У. Дуйсенова**

Влияние соотношения исходных компонентов на коэффициент набухания и pH раствора системы г-ПАК – г-ПЭИ в присутствии ионов переходных d-металлов (Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>).  
*O. Torebekov, T. Jumadilov, M. Duseinova* – Effect of the ratio of the initial components on the swelling ratio and pH of the solution of g-PAA - g-PEI in the presence of transition d-metals (Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>) ..... 31

## ТЕХНОЛОГИЯ СИЛИКАТНЫХ И ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

**О.А. Мирюк**

Способы приготовления магниезиальных композиций.  
*O. Miryuk* – Methods of preparing of magnesium compositions ..... 37

## АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ И ЗАЩИТНОЕ ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ И БОРЬБА С НИМИ

**А.В. Семенютина, И.П. Свинцов,**

**А.Ш. Хужахметова, В.А. Семенютина**

Научные основы семеноведения генофонда деревьев и кустарников в засушливых условиях.  
*A. Semenytina, I. Svintsov, A. Huzhahmetova, V. Semenytina* – Scientific basic seed gene pool trees and shrubs in in dry conditions ..... 40

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

**В.А. Седов, Н.А. Седова, А.А. Егоров**

Число циклов обучения нейро-нечётких сетей для определения степени опасности столкновения судов.  
*V. Sedov, N. Sedova, A. Egorov* – The epochs of neuro-fuzzy networks to determine the degree of ships collision risk ..... 53

## ГИДРОБИОЛОГИЯ

**В.В. Куриленко, О.С. Изосимова**

Гидробионты Волги как интегральный показатель влияния нефтепродуктов на качество воды.  
*V. Kurylenko, O. Izosimova* – Hydrobionts of Volga as integrated indicator of influence of oil products on quality of water ..... 57

## ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

**А.А. Сикачина**

Комплексоны-полиаминополикарбонные кислоты: квантовохимическое и статистическое исследование изолированных молекул и их серий.  
*A. Sikachina* – Kompleksones-poliaminopolikarbonic acids: quautochemical and statistical research of the isolated moluculas and their series ..... 60

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РЕШЕТКИ ИЗ ПРОВОДЯЩИХ ЛЕНТ НА ЭКРАНИРОВАННОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ ДЛЯ АНТЕННЫ ДИФРАКЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**Останков А.В.,**

Воронежский государственный технический университет,  
avostankov@mail.ru

**Кирпичева И.А.,**

магистрант кафедры радиотехники,  
Воронежский государственный технический университет,  
kirpicheva89@mail.ru

**Аннотация:** Изложена авторская методика расчета параметров излучающего раскрыва дифракционной антенны вытекающей волны в режиме наклонного излучения. Раскрытие реализован на основе решетки из проводящих лент на экранированном диэлектрическом волноводе. Методика содержит ряд этапов, существенно опирающихся на авторскую математическую модель дифракции волны на периодической структуре. Приведены результаты расчетов, иллюстрирующие методику.

**Ключевые слова:** антенна дифракционного излучения, излучающий раскрыв, ленточная решетка, диэлектрический волновод, математическая модель, частотная характеристика.

## CALCULATION OF PARAMETERS OF THE GRATING FROM CONDUCTIVE STRIPS ON THE SCREENED DIELECTRIC WAVEGUIDE FOR THE ANTENNA OF DIFFRACTION RADIATION

**Ostankov A.V.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Radio Engineering  
of Voronezh State Technical University

**Kirpicheva I.A.,**

Undergraduate of the Department of Radio Engineering  
of Voronezh State Technical University

**Abstract.** The author's design procedure of parameters of the radiating aperture of the diffraction antenna of a leaky wave in a mode of oblique radiation is stated. The radiating aperture is executed on the basis of a grating from conductive strips on the screened dielectric waveguide. The procedure contains a series of the stages essentially leaning against author's mathematical model of diffraction of a wave on periodic structures. The results of calculations illustrating a technique are presented.

**Key words:** the antenna of diffraction radiation, the radiating aperture, a strip grating, the dielectric waveguide, mathematical model, the frequency characteristic.

**В**ведение. Антенны дифракционного излучения (дифракционные антенны вытекающей волны) уверенно занимают свою нишу среди микроволновых антенн специального назначения [1-3]. Принцип работы антенны дифракционного излучения базируется на эффекте преобразования поверхностной волны открытой линии передачи в объёмную волну, излучаемую за счёт периодического взаимодействия поверхностной волны с неоднородностями линии передачи [4]. Характерные размеры таких неоднородностей – элементов периодической дифракционной решётки – в отличие от замедляю-

щих систем соизмеримы с длиной излучаемой волны. Поэтому в решётках, на основе которых реализуются антенны дифракционного излучения, часто проявляются разнообразные волновые резонансы [5,6]. Расчёт параметров подобных дифракционных решёток является нетривиальной и актуальной задачей.

Одним из классических вариантов построения излучающего раскрыва антенны дифракционного излучения является использование ленточной решётки, размещаемой на экранированном планарном диэлектрическом волноводе, в котором с помощью специального устройства возбуждается поверхностная

волна [1,3]. При одностороннем возбуждении диэлектрического волновода в торец реализуется режим наклонного излучения, при центральном или встречном двухстороннем – строго поперечного излучения [3,7].

Цель работы – изложить методику расчёта параметров решётки из проводящих лент на экранированном диэлектрическом волноводе применительно к её использованию в качестве излучающего раскрыва антенны в режиме наклонного излучения и существенно опирающуюся на оригинальную математическую модель дифракции волны на периодической структуре.

**Постановка задачи.** Пусть антенна работает на приём и располагается в дальней зоне источника излучения, тогда к ней извне приходит однородная плоская электромагнитная волна. Рассмотрим случай линейной  $H$ -поляризации волны. С электродинамической точки зрения антенна представляет собой экранированный планарный диэлектрический волновод с нанесённой на его боковой поверхности периодической решёткой из проводящих лент (рис. 1, где  $d$  – период решётки). Диэлектрический волновод согласован с нагрузкой (устройством возбуждения). Пусть ширина излучающего раскрыва в направлении однородности лент составляет более  $10\lambda_0$ , длина – не менее  $25\lambda_0$  ( $\lambda_0$  – длина волны), тогда конечную решётку можно рассматривать как бесконечно протяжённую [4]. Будем полагать, что тепловые потери в лентах решётки отсутствуют, что в коротковолновой части сантиметрового и длинноволновой части миллиметрового диапазона вполне допустимо.

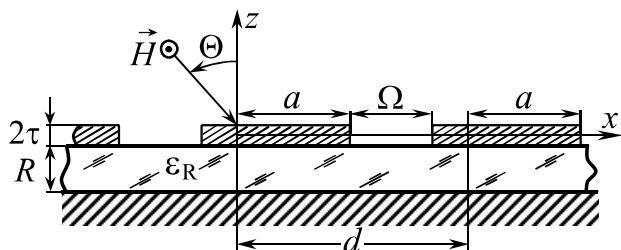


Рис. 1. Геометрия излучающего раскрыва в поперечном сечении

При таких условиях электродинамический анализ антенны сводится к решению задачи дифракции плоской однородной волны с линейной поляризацией на неограниченной строго периодической металлodieлектрической структуре. При решении задачи дифракции плоской волны на одномерно-периодической структуре рассеянное структурой поле представляется рядом Фурье по пространственным гармоникам [8,9]. Поскольку режим работы решётки одноволновый ( $d/\lambda_0 < 1/(1+\sin\Theta)$ ), где  $\Theta$  – угол прихода волны к решётке, рис. 1), тогда в части спектра рассеянного поля, соответствующего поверхностным волнам, доминирующей является гармоника  $(-1)$ -го порядка, которая распространяется противоположно направлению скольжения дифрагирующей волны (в этом направлении ориентировано устройство возбуждения) и является рабочей волной [9]. Отыскав каким-либо (аналитическим или численным) способом интенсивность (амплитуду, мощность) рабочей  $(-1)$ -й поверхностной гармоники, несложно найти отклик антенны на приходящую волну и оценить её основные характеристики.

**Математическая формализация задачи.** В работе [10] одним из соавторов данной статьи в рамках теории дифракции, основанной на прямых проекционных методах, выполнен электродинамический анализ бесконечной периодической структуры типа “щелевая решётка - диэлектрический волновод - металлическая гребёнка” (рис. 2 – с сохранением исходных обозначений) в режиме преобразования приходящей извне плоской волны линейной  $H$ -поляризации в поверхностную волну. Для решения краевой задачи в работе использованы метод частичных областей с представлением рассеянных полей рядами Фурье, например в области над структурой в виде

$$H_y^{(1)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n \exp[j\gamma_n(z-\tau)] \exp(j\beta_n x), \quad (1)$$

и процедура переразложения модальных функций, описывающих поля в выделенных частичных областях, по базисам смежных областей.

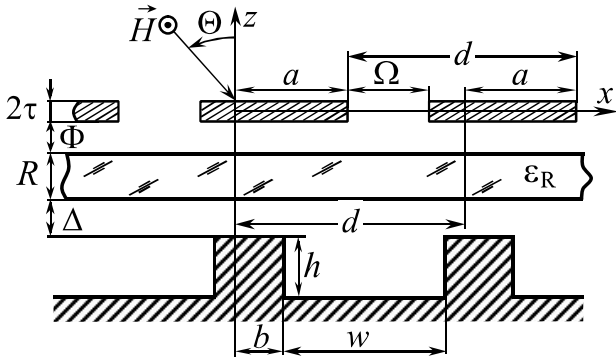


Рис. 2. Исходная электродинамическая структура, частным случаем которой является показанная на рис. 1

Показанная на рис. 1 геометрия является частным вариантом проанализированной в работе [10] структуры. Тогда электродинамическая модель преобразования волны ленточной решёткой на экранированном диэлектрическом волноводе определяется системой линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), приведённой в работе [10], при условии отсутствия в исходной структуре (рис. 2) обоих воздушных зазоров ( $\Phi = \Delta = 0$ ) и равенства нулю глубины канавок экранирующей гребёнки.

Однако для снижения размерности и трудоёмкости численного решения задачи имеется возможность модификации исходной СЛАУ. Действительно, при наличии в плоскости раскрыва гребёнки металлического экрана  $H$ -компоненту поля дифракции внутри диэлектрического волновода удобно представить так, чтобы обеспечить автоматическое равенство нулю касательной компоненты электрического поля, например в виде:

$$H_y^{(ДВ)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n \cos[\eta_n(z+\tau+R)] \exp(j\beta_n x). \quad (2)$$

Тогда промежуточные функциональные уравнения принимают несколько иной вид. Аналитические выкладки говорят о том, что результирующая СЛАУ для геометрии, представленной на рис. 1, может быть получена из СЛАУ [10] простой заменой в первой и второй подсистемах суммы  $K_n \cdot \exp(-j\eta_n R) + L_n \cdot \exp(j\eta_n R)$

на  $F_n \cdot \cos(\eta_n R)$ , а разности переменных  $K_n \cdot \exp(-j\eta_n R) - L_n \cdot \exp(j\eta_n R)$  – соответственно на  $-jF_n \cdot \sin(\eta_n R)$ , и отбрасыванием третьей подсистемы. Таким образом, имеем результирующую СЛАУ для анализа пространственного преобразования волн  $H$ -поляризации структурой типа “ленточная решётка – диэлектрический волновод – металлический экран”:

$$\begin{cases} \sum_{n=-N}^N \left[ A_n \cdot (-j\Sigma_{ns}^+ + \Delta_n^s \gamma_n) + jF_n \cdot (-\Sigma_{ns}^+ \cos(\eta_n R) - \Delta_n^s \frac{\eta_n}{\epsilon_R} \sin(\eta_n R)) \right] = j\Sigma_{0s}^+ + \Delta_s^0 \gamma_s, \\ \sum_{n=-N}^N \left[ A_n \cdot (+j\Sigma_{ns}^- + \Delta_n^s \gamma_n) + jF_n \cdot (-\Sigma_{ns}^- \cos(\eta_n R) + \Delta_n^s \frac{\eta_n}{\epsilon_R} \sin(\eta_n R)) \right] = -j\Sigma_{0s}^- + \Delta_s^0 \gamma_s, \end{cases} \quad (3)$$

где  $s = \overline{-N, N}$ ;  $2N+1$  – число учитываемых гармоник в пространственном спектре полей дифракции;

$A_n, F_n$  – комплексные амплитуды гармоник поля над раскрывом и внутри волновода;

$$\gamma_n = \sqrt{k_0^2 - \beta_n^2}; \beta_n = k_0 \sin \Theta + 2\pi n/d; k_0 = 2\pi/\lambda_0$$

$$\eta_n = \sqrt{k_0^2 \epsilon_R - \beta_n^2}; q_m = \sqrt{k_0^2 - (m\pi/\Omega)^2};$$

$$\Sigma_{ns}^{\left\{ \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \right\}} = \sum_{m=0}^{4N} q_m \cdot V_{ms} \cdot T_{nm} \cdot \left\{ \begin{smallmatrix} \text{tg} \\ \text{ctg} \end{smallmatrix} \right\} (q_m \tau);$$

$$T_{nm} = \frac{\Psi_{nm}}{1 + \Delta_m^0}; V_{ms} = \frac{\Psi_{sm}^* \cdot \Omega}{2d};$$

$$\Psi_{nm} = \exp \left\{ j \left[ \beta_n \left( a + \frac{\Omega}{2} \right) + \frac{m\pi}{2} \right] \right\} \times \left[ \text{sinc} \left( \frac{\beta_n \Omega + m\pi}{2} \right) + (-1)^m \cdot \text{sinc} \left( \frac{\beta_n \Omega - m\pi}{2} \right) \right];$$

$\Delta_1^j$  – символ Кронекера;

$$\text{sinc}(x) = \sin(x)/x.$$

СЛАУ (3) пригодна для непосредственной численной реализации и однозначным образом разрешается относительно  $A_n$  и  $F_n$ . Располагая приемлемым ансамблем последних легко рассчитать поле рассеянной волны над (1) и внутри (2) структуры. На основе представленных соотношений несложно составить программу численного расчёта в системе компьютерной математики, например, MathCAD.

**Методика расчёта параметров излучающего раскрыва и пример её использования.** Для проектирования излучающего раскрыва антенны дифракционного излучения, реализованной на основе рассматриваемой структуры, предлагается экспресс-методика, содержащая элементы параметрического синтеза и иллюстрируемая конкретным примером:

1) выбор ширины щелей  $\Omega$  ленточной решётки; её значение следует взять несколько меньшим  $\lambda_0/2$ ; имеет смысл воспользоваться графиками в [4] или рекомендациями в [3]; положим  $\Omega = d/4$ ;

2) толщина лент предполагается малой; хорошее соответствие модели с результатами анализа решётки из лент бесконечно малой толщины достигается при  $2\tau$  порядка  $0.01d$  [6]; будем считать, что  $2\tau = \lambda_0/80$ ;

3) выбор материала диэлектрического волновода; предпочтительны листовые диэлектрики, обладающие относительно малыми потерями и, как правило, небольшой относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_R$ ; пусть диэлектрик, из которого выполнен волновод, – полистирол с  $\epsilon_R = 2.5$ ;

4) расчёт толщины планарного диэлектрического волновода  $R$ ; значение  $R$  существенно влияет на уровень поверхностной гармоники и его распределение по направлениям прихода волны и частоте; одним из возможных критериев выбора является фиксированный угол максимального приёма  $\Theta_{-1\max}$  при вариации  $R$  в окрестности искомого значения (отсутствие резонансов) или же близость к рекомендуемой в [11] величине  $\lambda_0/(2\sqrt{\epsilon_R})$ , соответ-

ствующей толщине “прозрачного” диэлектрического слоя для волны, приходящей по нормали; результаты расчёта угло-частотных поверхностей раскрыва  $|A_{-1}\gamma_{-1}| = f(\Theta, d/\lambda_0)$  для разных значений  $R$  (рис. 3) показывают, что для выбранных параметров при  $R = (0.35-0.40)d$  значения угла максимального приёма практически одинаковы (вместе с тем, раскрыв обладает достаточно сильной угловой дисперсией, особенно при малой величине  $R$ ); целесообразно взять  $R = 0.35d$ ;

5) выбор периода решётки  $d$  (частотного параметра  $d/\lambda_0$ ); также осуществляется на основе анализа расчётных угло-частотных поверхностей раскрыва при разных значениях  $R$ ; искомый параметр должен обеспечивать требуемую для высокой эффективности величину постоянной ослабления  $\alpha_{-1}$  (зависящую от длины реализуемого раскрыва) [12], удалённость или близость (в зависимости от способа предполагаемого возбуждения) к режиму брэгговского резонанса [13], слабую зависимость угла максимального приёма от величины  $R$ ; так, для выбранных параметров из рис. 3 следует, что в качестве реализуемого частотного параметра  $d/\lambda_0$  имеет смысл взять значение, равное 0.72; тогда угол максимального приёма  $\Theta_{-1\max}$  составляют “минус”  $6^\circ$  (приемлемо для одностороннего возбуждения волновода в торец);

6) точный расчёт угло-частотной поверхности, оценка постоянной ослабления поверхностной волны, эффективности раскрыва; соответствующая рис. 3,  $\partial$  угло-частотная характеристика раскрыва показана на рис. 4, *a* (штриховыми линиями выделен сектор углов максимального приёма, в пределах которого интенсивность поверхностной волны при фиксированном  $d/\lambda_0$  снижается не более чем в  $\sqrt{2}$  по сравнению с максимальным значением, наблюдаемым при  $\Theta_{-1\max}$ ), частотная зависимость нормированной постоянной ослабления поверхностной волны приведена на рис. 4, *б*; эффективность раскрыва (произведение КПД на коэффициент использования поверхности раскрыва) [3,14] в предположении строго экспоненциального амплитудного распределения, рассчитанная на основе найденных значений  $\alpha_{-1}$  для решётки из 30-ти периодов, показана на рис. 4,

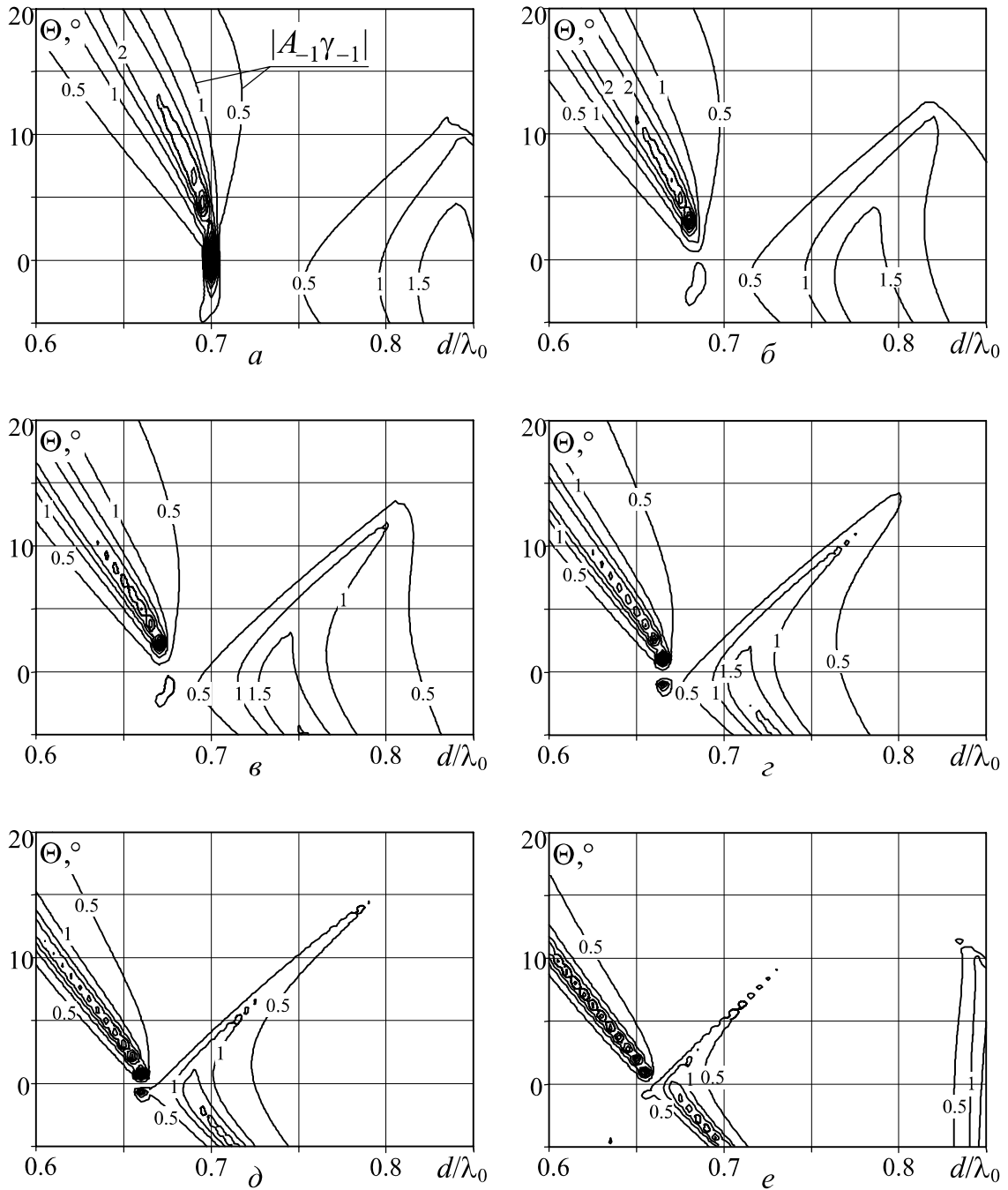


Рис. 3. Угло-частотные поверхности преобразования падающей волны в поверхностную волну раскрывом для разных  $R/d$ :  
 а – 0.15, б – 0.2, в – 0.25, г – 0.3, д – 0.35, е – 0.4

в; применительно к выбранному значению  $d/\lambda_0$  сектор максимального приёма составляют  $2^\circ$ , частотная

полоса – 1.5%, постоянная ослабления поверхностной волны  $\alpha_{-1} = 0.0432/d$ , эффективность – 80%;

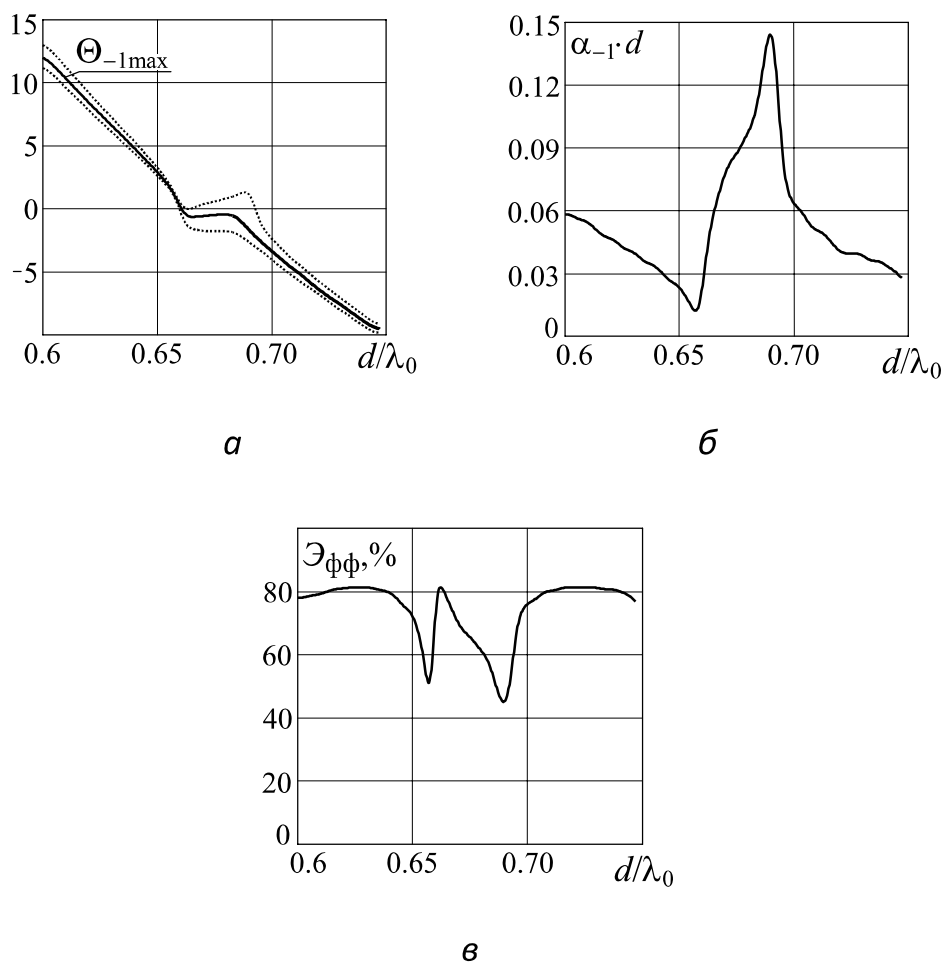


Рис. 4. Расчётные частотные характеристики раскрыва для выбранных параметров геометрии

7) выбор закона изменения ширины лент; ширину лент (щелей) решётки в направлении распространения вытекающей волны целесообразно варьировать, обеспечивая выравнивание амплитудного распределения в раскрыве; на рис. 5, а приведена расчётная зависимость интенсивности (-1)-й гармоники от угла падения волны и ширины лент ( $d-\Omega$ ), соответствующие значения постоянной ослабления  $\alpha_{-1}$  поверхностной волны показаны на рис. 5, б; из последнего графика следует, что на интервале значений  $d-\Omega$  от  $0.38d$  до  $0.72d$  наблюдается увеличение  $\alpha_{-1}$ , следовательно, ширина лент решётки должна возрастать вдоль направления распространения вы-

текающей волны, например, от  $0.35d$  до  $0.75d$  (включая выбранное ранее значение).

Следует заметить, что пункты 1, 4, 5 и 7 могут быть объединены, а соответствующие параметры найдены в результате оптимизации на основе хорошо апробированного к аналогичным задачам генетического алгоритма по методике, описанной в работах [15,16].

Представленная методика частично апробирована при разработке микроволновой антенны дифракционного излучения и продемонстрировала свою состоятельность.



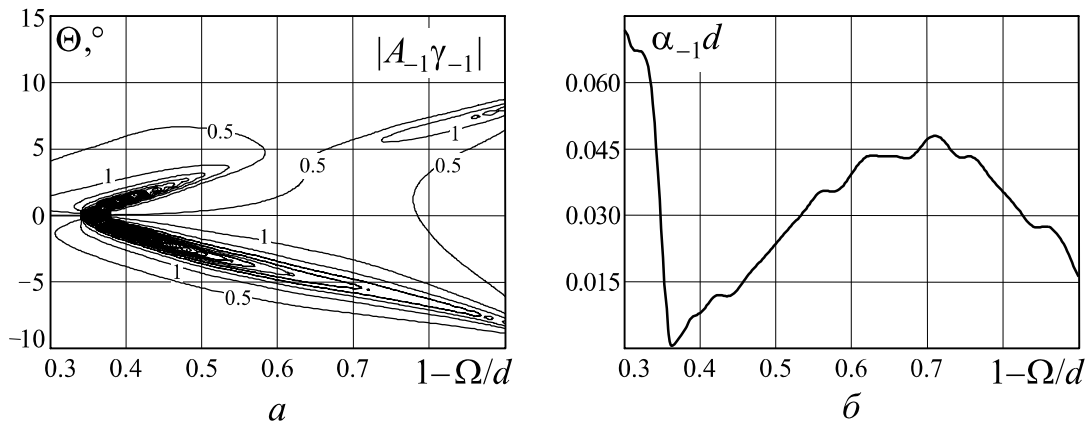


Рис. 5. Зависимости интенсивности и постоянной ослабления поверхностной волны от ширины лент решётки

**Заключение.** Таким образом, в работе предложена методика расчёта параметров решётки из проводящих лент на экранированном диэлектрическом волноводе применительно к её использованию в качестве излучающего раскрыва дифракционной ан-

тенны вытекающей волны в режиме наклонного излучения, существенно опирающаяся на авторскую математическую модель дифракции волны на периодической структуре.

### Список литературы

1. Евдокимов, А. П. Антенны дифракционного излучения / А. П. Евдокимов // Физические основы приборостроения. – 2013. – Т. 2. – № 1. – С. 108-124.
2. Останков, А. В. Ретроспективный анализ возможностей, конструкций и основных характеристик дифракционных антенн вытекающей волны / А. В. Останков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – Т. 6. – № 8. – С. 75-81.
3. Климов, А. И. Разработка и исследование плоских дифракционных антенн СВЧ и КВЧ диапазонов с электрически управляемыми характеристиками. – Воронеж: Научная книга, 2010. – 118 с.
4. Шестопапов, В. П. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники: в 2 т. Т. 1.: Открытые структуры / В. П. Шестопапов. – Киев: Наук. думка, 1985. – 216 с.
5. Резонансные свойства системы планарный диэлектрический волновод – гребёнка / В. В. Крыжановский, С. В. Крыжановский, С. А. Стешенко, О. В. Чистякова // Радиофизика и электроника (Харьков). – 2008. – Т. 13. – № 3. – С. 481-488.
6. Останков, А. В. Электродинамические модели резонансных гребенчатых структур для анализа и синтеза высокоэффективных дифракционных антенн: дисс... д-ра техн. наук: 05.12.07 / Воронежский государственный технический университет. – Воронеж, 2011. – 421 с.
7. Останков, А. В. Оптимизация антенны дифракционного излучения, реализованной по интерферометрической схеме/ А. В. Останков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – Т. 6. – № 11. – С. 51-54.

8. Sirenko, Y. K. Modern theory of gratings. Resonant scattering: Analysis techniques and phenomena / Y. K. Sirenko, S. Ström. – Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2012. – 408 p.
9. Останков, А. В. Электродинамический метод анализа открытых металлодиэлектрических гребенчатых структур / А. В. Останков, В. И. Юдин // Радиотехника. – 2012. – № 2. – С. 31-37.
10. Моделирование рассеяния волн на щелевой решетке, экранированной периодической “гребенкой” со слоем диэлектрика / А. В. Останков, Ю. Г. Пастернак, О. И. Шерстюк, В. И. Юдин // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2003. – Т. 6. – № 2. – С. 68-71.
11. Евдокимов, А. П. Дифракционные явления в антеннах вытекающих волн / А. П. Евдокимов, В. В. Крыжановский // Антенны. – 2003. – № 3-4 (70-71). – С. 50-56.
12. Дифракционные решетки в антеннах СВЧ и КВЧ диапазонов волн [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В. И. Юдин, Ю. Г. Пастернак, А. В. Останков, К. Б. Меркулов. – Воронеж: ВГТУ, 2002. – 180 с.
13. Останков, А. В. Дифракционная антенна вытекающей волны с нестандартной реализацией излучающего раскрыва / А. В. Останков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – Т. 6. – № 8. – С. 17-26.
14. Останков, А. В. Расчет частотно-сканирующей антенны дифракционного излучения / А. В. Останков, Ю. Е. Калинин // Радиотехника. – 2014. – № 3. – С. 83-87.
15. Останков, А. В. Анализ и оптимизация дифракционной антенны поверхностной волны / А. В. Останков // Антенны. – 2010. – № 9 (160). – С. 44-53.
16. Останков, А. В. Синтез излучающего гребенчатого раскрыва антенны вытекающей волны / А. В. Останков // Радиотехника. – 2012. – № 2. – С. 38-44.

## МЕТОДИКА КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ИСТОРИОГРАФИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ

**Тушавин В.А.,**

к.т.н., к.э.н., доцент,

ФГАОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения»

**Бобкова Е.Ю.,**

к.п.н., доцент,

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления  
имени К.Г. Разумовского» (Первый казачий университет).

Самарский казачий институт индустрии питания и бизнеса,

Россия, Самара

visa3@ya.ru

**Аннотация.** В статье разработана методика сравнения качества исторических и историографических источников с использованием инструментов и методов квалиметрии. В качестве исходной базы избран корпус исторических и историографических источников по проблемам политического воспитания военнослужащих советского государства. Рассмотрен анализ выбора альтернатив и предложено решение, позволяющее снизить влияние человеческого фактора на качество анализа, основанное на рандомизации показателей линейной свертки весовых коэффициентов единичных показателей качества.

**Ключевые слова:** принятие решений, стохастическое доминирование, историография, военная история, политическое воспитание военнослужащих, качество источников, рандомизация.

## TECHNIQUE OF THE QUALIMETRICAL ASSESSMENT OF CHARACTERISTICS OF QUALITY OF HISTORIOGRAPHIC SOURCES

**Tushavin V.A.,**

Associate Professor,

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

**Bobkova E.Yu.,**

Associate Professor,

Samara Institute of the food industry and the business Razumovsky

**Abstract.** In this paper the technique of comparing the quality of historical and historiographical sources using tools and methods of quality control. As a starting base elected body of historical and historiographical sources on the political education of soldiers of the Soviet state. Considered analysis of the choice of alternatives and propose solutions to reduce the impact of human factors on the quality of the analysis based on the randomization parameters of linear convolution of the weighting coefficients of individual quality indicators.

**Keywords:** decision making, stochastic dominance, historiography, military history, political indoctrination, the quality of sources, randomization.

Одной из актуальных проблем при работе с историческими и историографическими источниками является их ранжирование, то есть сравнение источников по степени достоверности отражения исследуемой области. Формирование единого информационного пространства и развитие информационных технологий повлекли за собой качественный изменения в информационном поле исторических и историографических исследований.

Принципы методологического плюрализма [1,2] в сочетании с расширением источниковой базы благодаря виртуализации научного пространства актуализируют необходимость синтеза традиционных историографических подходов с методологическим инструментарием менеджмента знаний.

Эта задача носит комплексный характер и не имеет достаточно хорошо отработанной методологической основы. В этом случае большое значение при-

обретают знания и практический опыт специалистов [3]. В то же время, аналогичные задачи достаточно успешно решаются в менеджменте с помощью инструментов и методов управления качеством [4,5]. В соответствии с ISO 9000:2008 «The adjective quality applies to objects and refers to the degree to which a set of inherent characteristics fulfills a set of requirements». Иными словами, определив требования к историографическим источникам, мы можем говорить об их качестве. Целью данной статьи является адаптация методов квалитологии, в частности, квалитрии применительно к историографическим источникам. В качестве рабочей базы был использован корпус историографических источников, посвященных проблемам политического воспитания военнослужащих Красной (Советской) армии. Хронологические рамки источниковой базы – 74 года. Выбор базы данных обусловлен доступом авторов к верифицированному крупному корпусу историографических источников, позволяющего провести апробацию методического инструментария.

Для решения поставленной задачи целесообразно использование метода построения рандомизированных оценок качества объектов с последующим их сравнением с помощью стохастического доминирования.

В большинстве практических задач, решаемых с помощью методов квалитрии, используется комплексный показатель качества  $Q$ , построение которого производится с помощью линейной свертки  $m$  единичных показателей  $X^{(1)} \dots X^{(m)}$  с использованием весовых коэффициентов  $p_1 \dots p_m$ :

$$Q = \sum_{i=1}^m p_i X^{(i)} \quad (1)$$

Иными словами, задачу построения комплексного показателя качеств историографических источников  $Q$  можно разбить на два этапа:

1. Выбор ключевых показателей качества историографических источников, подлежащих включению в номенклатуру единичных показателей линейной свертки.

2. Определение весовых коэффициентов  $p_1 \dots p_m$ , отражающих относительную значимость единичных показателей  $X^{(1)} \dots X^{(m)}$ . При этом все единичные показатели имеют одинаковую направленность шкал и их относительное качество возрастает с ростом их значения.

Как было показано [6,7], при отсутствии достаточных оснований для однозначного выбора весовых коэффициентов  $p_1 \dots p_m$ , данная задача применительно может быть решена с использованием модели рандомизации коэффициентов, либо используя методы нечеткой логики [8]. В данной статье будет рассмотрен первый подход.

Единичные показатели ( $X_i$ ), характеризующие качество историографических источников, можно представить следующим образом.

$X_1$ . Доступность источника: 0 – без доступа; 1 – ограниченный доступ; 2 – доступ за плату; 3 – свободный доступ.

Данный показатель является нестандартным для классического историографического исследования, решающим фактором, повлиявшим на его включение в систему критериев, характеризующих историографических источников, являются мировые тенденции создания научных информационно-аналитических баз данных, включающих как оцифрованные архивные документы, ранее недоступные исследователю, как и совокупность вариативных научных публикаций. Под доступностью источника в данном случае понимается виртуально-территориальная доступность источника для исследователя: если источник не оцифрован, для доступа к источнику требуется физическое присутствие исследователя в архиве или библиотеке – он относится к категории «без доступа».

Если библиографическое описание источника включено в научную информационно-аналитическую систему открытого доступа, но сам источник не оцифрован – данный источник относится к категории «ограниченный доступ».

В случае, если источник присутствует в научной информационно-аналитической системе, но исследователю доступно только библиографическое

описание, а работа с текстом источника сопряжена с необходимостью затраты финансовых ресурсов в различных формах (оплата доступа к тексту конкретного источника, оплата абонемента на работу с информационно-аналитической базой и т.д.) – данный источник относится к категории «доступ за плату».

Присутствие источника в открытом доступе в глобальном информационном пространстве позволяет отнести его к категории источников «свободного доступа».

Х2. Категория источника: 1 – публицистика; 2 – эгоисточник; 3 – официальный документ; 4 – научная публикация.

Х3. Историчность: 1 – неисторический источник; 2 – историографический источник; 3 – исторический источник.

Х4. Период в целых годах между историческим источником (S) и событием (E):  $5 - \log(S - E + 1)$

Х5. Вид источника: 1 – источники по конкретно-историографическим периодам; 2 – методологические историографические источники; 3 – источники по конкретно-историческим периодам.

Х6. Широта рассматриваемой историографической проблемы: 1 – комплексные; 2 – посвящены конкретной проблеме.

Х7. Широта рассматриваемых персоналий: 1 – посвящены историографическим периодам; 2 – посвящены историческим периодам; 3 – посвящены конкретным персоналиям.

При необходимости данную шкалу можно расширить другими показателями, в зависимости от направления исследования и целей исследователя. Необходимо отметить, что рассматриваемая методика применима не только к историографическим, но и к историческим исследованиям.

Таким образом, для того чтобы сравнить два источника необходимо построить проекцию двух точек в многомерном пространстве на одномерную шкалу, подобрав соответствующие коэффициенты линейной свертки.

Как было показано ранее [7], для случайных неотрицательных коэффициентов  $p_1 \dots p_m$ , сумма

которых равна 1, справедливо, что их генеральная совокупность образует  $m$ -вершинный симплекс в  $m$ -мерном пространстве:

$$\mathbb{S}^m = \left\{ (p_1 \dots p_m) : \sum_{i=1}^m p_i = 1; p_i \geq 0, i = 1, \dots, m \right\}.$$

Таким образом, построение матрицы стохастических весовых коэффициентов сводится к генерации случайных точек, равномерно распределённых по поверхности стандартного симплекса. Как известно, этому условию удовлетворяет распределение Дирихле, плотность вероятности которого для  $k > 2$  и  $a_i > 0$  описывается формулой:

$$f(x_1, \dots, x_{k-1}; a_1, \dots, a_k) = \frac{1}{B(a)} \prod_{i=1}^k x_i^{a_i-1},$$

где  $B(a)$  — многомерная бета-функция. В случае же введения для коэффициентов  $p$  ограничений вида  $p_a \geq p_b, \dots, p_c \geq p_d$ , получаем неправильный симплекс (политоп):

$$\dot{\mathbb{S}}^m = \left\{ (p_1 \dots p_m) : \sum_{i=1}^m p_i = 1; p_i \geq 0, i = 1, \dots, m; p_a \geq p_b, \dots, p_c \geq p_d \right\},$$

где  $\dot{\mathbb{S}}^m \subseteq \mathbb{S}^m$ . Отражая точки  $(P | P \in \mathbb{S} \Delta \dot{\mathbb{S}})$  относительно плоскостей, соответствующих неравенствам, получаем точки равномерно распределённые в заданном политопе [9]. Алгоритм генерации случайных векторов с учетом возможных ограничений по значимости на языке R [10,11] представлен ниже.

```
library(gtools)
rpoly<-function(n=1, size=2, test=data.frame()) {
  mtx<-rdirichlet(n, rep(1, size))
  if(length(test)==0) return(mtx)
  for(j in 1:n) {
    while(TRUE) {
```

```

flag=TRUE
for(i in 1:nrow(test)) {
  if(mtx[j,test$master[i]]<mtx[j,test$slave[i]]) {
    tmp<-mtx[j,test$slave[i]]
    mtx[j,test$slave[i]]<-mtx[j,test$master[i]]
    mtx[j,test$master[i]]<-tmp
    flag=FALSE
  }
}
if(flag) break
}
return(mtx)
}

```

Пусть значения рандомизированного комплексного показателя  $Q$  для качества объектов (А) и (В) могут быть вычислены по формуле (1). Решение о предпочтении одного объекта по сравнению с другим может быть принято путем сравнения  $Q_A$  и  $Q_B$ . Однако, в результате рандомизации выполнение неравенства  $Q_A > Q_B$  является случайным событием с

вероятностью  $P(Q_A > Q_B)$ . Если указанная вероятность превосходит некоторое пороговое значение  $\gamma$ , то можно говорить о значимом стохастическом доминировании объекта А над объектом В.

В данном случае модель качества историографического источника может быть описана с помощью следующей линейной свертки  $Q = P_1X^{(1)} + P_2X^{(2)} + P_3X^{(3)} + P_4X^{(4)} + P_5X^{(5)} + P_6X^{(6)} + P_7X^{(7)}$ , где  $X(i)$  – значения единичных показателей качества источника, а  $P_i$  – вектора соответствующих коэффициентов.

Пусть имеются следующие приоритеты показателей:  $P_5 > P_1$ ,  $P_5 > P_2$ ,  $P_5 > P_3$ ,  $P_5 > P_4$ ;  $P_2 > P_1$ ,  $P_2 > P_3$ ,  $P_2 > P_4$ ;  $P_1 > P_3$ ,  $P_1 > P_4$ . Тогда матрица  $1000 \times 5$  элементов с заданными ограничениями может быть получена следующим образом:

```

> set.seed(2015)
> mtx<-rpoly(1000, 7,
+ data.frame(master=c(5,5,5,5,2,2,2,1,1),
+ slave=c(1,2,3,4,1,3,4,3,4)))
> summary(mtx)

```

V1	V2	V3	V4
Min.:0.00873	Min.:0.04166	Min.:3.461e-05	Min.:8.146e-05
1st Qu.:0.07711	1st Qu.:0.13303	1st Qu.:1.192e-02	1st Qu.:2.731e-02
Median:0.10952	Median:0.17629	Median:2.740e-02	Median:5.115e-02
Mean:0.11131	Mean:0.17939	Mean:3.614e-02	Mean:5.581e-02
3rd Qu.:0.14424	3rd Qu.:0.21940	3rd Qu.:5.203e-02	3rd Qu.:7.964e-02
Max.:0.26235	Max.:0.40837	Max.:1.669e-01	Max.:1.663e-01

V5	V6	V7
Min.:0.05989	Min.:0.0000583	Min.:0.000011
1st Qu.:0.24491	1st Qu.:0.0500483	1st Qu.:0.047827
Median:0.31390	Median:0.1123544	Median:0.106502
Mean:0.32388	Mean:0.1479889	Mean:0.145482
3rd Qu.:0.39221	3rd Qu.:0.2174812	3rd Qu.:0.208369
Max.:0.79738	Max.:0.6648018	Max.:0.805669

Дальнейшие вычисления, необходимые для сравнения историографических источников по указанному выше алгоритму, тривиальны и представляют собой нахождение вектора  $Q$  для каждого из источников, нахождение вероятности доминирования и принятие решения на основании порогового значения.

В условиях динамичных фундаментальных трансформаций информационного пространства проблема анализа историографических источников становится одной из системообразующих, позволяющих верифицировать процессы накопления и анализа историографических знаний.

Традиционные методы исследования исторических и историографических источников [12] не позволяют в полной мере исключить «человеческий фактор» и провести объективную верификацию источников, доступных современному исследователю, что актуализирует необходимость синтеза классической методологии исторической и историографической науки и апробированного инструментария менеджмента интеллектуальных активов.

Описанный подход является новым и может быть использован для решения широкого круга задач, связанных с ранжированием различных исторических и историографических источников.

### Список литературы

1. Bobkova E.Yu. Reflection of Party and State Concept of Political Indoctrination of the Red Army Contingent in the Works of the Soviet State Military Leadership // Middle-East Journal of Scientific Research, № 19 (4), 2014. P. 497- 500. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2014.19.4.21002
2. Magsumov T.A. Main approaches to the study of historical and educational process // Blye Gody. Volume 34, Issue 4, 1 December 2014, P.720-726
3. Shatalova T.N., Chebykina M.V., Zhirnova T.V., Bobkova E.Yu. Base of Instruments for Managing Energy Resources in Monitoring Activity of Industrial Enterprises// Advances in Environmental Biology, № 8(7) May 2014, P: 2372-2376
4. Тушавин В.А. Практическое использование проектного подхода для управления знаниями в современной ИТ-компании // Проблемы экономики. 2008. № 6. С. 109-111.
5. Назаревич С.А., Семенова Е.Г. Методика оценки новизны результатов интеллектуальной деятельности // Вопросы радиоэлектроники. 2014. Т. 1. № 1. С. 121-138.
6. Тушавин В.А. Методы оценки комплексного показателя качества в сфере услуг // Экономика и менеджмент систем управления. 2014. Т. 14. № 4.1. С. 202-208.
7. Антохина Ю.А., Семенова Е.Г., Варжапетян А.Г., Оводенко А.А. Методы и инструменты управления качеством проектов. СПб., ГУАП, 2012. 304 с.
8. Semenova E. G., Smirnova M. S., Tushavin V. A. (2014) Decision making support system in multi-objective issues of quality management in the field of information technology // Research Journal of Applied Sciences. Volume 9, Issue 12, 2014, Pages 1078-1081. DOI: 10.3923/rjasci.2014.1078.1081
9. Rubin Paul A. (1984) Generating random points in a polytope. Communications in Statistics - Simulation and Computation. Volume 13, Issue 3. pp. 375–396. DOI:10.1080/03610918408812382
10. R Core Team. (2014) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>
11. Gregory R. Warnes, Ben Bolker and Thomas Lumley (2014). gtools: Various R programming tools. R package version 3.4.1. <http://CRAN.R-project.org/package=gtools>

12. Bobkova E.Yu. Development Of The Historiographical Researches About Problems Of The Political Education In The Ranksof The Soviet Army Personnelthrough Prism Ofthe Great Patriotic Warin The First Half Of The 90s Of The 20 Century // In The World Of Scientific Discoveries (Humanities & Social Sciences series). № 9.3(57), 2014. P. 1072-1077
13. Бобкова Е.Ю. Использование процессного подхода к управлению знаниями при проведении историографических исследований по проблемам политического воспитания личного состава Красной (Советской) армии // Экономика и менеджмент систем управления. 2015. Т. 1. № 15. С. 23-31



## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛНОГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗАМКНУТОГО КОНТУРА «ВОЗДУШНОЕ СУДНО-УНИФИЦИРОВАННАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЁТОМ»

Замковий Д.В.,  
научный сотрудник,  
Национальный авиационный университет  
(г. Киев, Украина)  
denzamk@gmail.com  
Кузнецов С.В.,  
старший научный сотрудник,  
Национальный авиационный университет (г. Киев, Украина)  
110576@mail.ru  
Мельник К.В.,  
к.т.н., старший научный сотрудник,  
Национальный авиационный университет (г. Киев, Украина)  
flight.control.system@gmail.com

**Аннотация.** Статья посвящена вопросам проектирования сложной системы, реализующей полный жизненный цикл имитационного моделирования динамики управляемого движения замкнутого контура «Воздушное судно – Унифицированная интеллектуальная автоматическая система управления полётом». Изложены основное назначение, требования, принципы построения, решаемые системой задачи. Рассмотрены вопросы структурно-функционального состава вышеуказанной системы. Приведены практические примеры разработки и применения.

**Ключевые слова:** полный жизненный цикл, имитационное моделирование, воздушное судно, динамика полёта, интеллектуальная автоматическая система управления полётом.

## THE SIMULATION OF THE FULL LIFE CYCLE OF THE CLOSED LOOP «AIRCRAFT – UNIFIED INTELLIGENT AUTOMATIC FLIGHT CONTROL SYSTEM»

**D.Zamkovyi,**  
Researcher National Aviation University (Ukraine, Kiev)  
**S.Kuznetsov,**  
Senior Researcher National Aviation University (Ukraine, Kiev)  
**K.Melnyk,**  
Ph.D. (Eng.), Senior Researcher National Aviation University (Ukraine, Kiev)

**Abstract.** This article deals with design of the complex system that implements the full life cycle of the simulation of dynamics of the closed loop «Aircraft – Unified Intelligent Automatic Flight Control System». It is considered the main purpose, requirements, design principles, and problems solved by this system, as well as the problems of the structural and the functional composition the aforementioned system. Practical examples of this approach are described.

**Keywords:** Full Life Cycle, Simulation, Aircraft, Flight Dynamics, Intelligent Automatic Flight Control System.

### Введение

**В** настоящее время при проектировании сложных комплексных авиационных тренажёров нового поколения для любых типов воздушных судов (ВС) важную роль играет точность и полнота их математических моделей (ММ), исследование и проектирование интеллектуальных автоматических систем управления полётом (ИАСУП)

ВС с дальнейшим имитационным моделированием (ИМ) динамики управляемого движения (ДУД) ВС в замкнутом контуре «ВС-ИАСУП» в ожидаемых и сложных условиях эксплуатации [1-4]. При этом, в первую очередь, исследователь-экспериментатор должен иметь возможность всестороннего изучения и совершенствования каждого элемента в замкнутом контуре, начиная от оценки адекватности ММ ВС,

например, определения и представления стационарных и нестационарных аэродинамических сил, их моментов, и заканчивая улучшением, изменением алгоритмов работы, выбором и оптимизацией параметров ИАСУП с целью повышения качества, точности, надёжности, безопасности её функционирования.

В данной работе, представлен опыт по созданию сложного универсального математического программного комплекса обеспечивающего решение комплекса задач аэродинамики, ДУД ВС различного типа, а также задач ИАСУП с использованием методов ИМ. Далее рассматриваются назначение, требования, принципы построения такого комплекса, решаемые им задачи, его структурный и функциональный состав.

### Постановка задачи

В ходе разработки инженерного тренажёра для обеспечения научно-исследовательских и проектных работ по созданию перспективных авиационных тренажёров, испытательных пилотажных стендов, имитаторов акселерационных воздействий, комплексов полунатурного моделирования, возникла необходимость в системе, реализующей полный жизненный цикл ИМ ДУД замкнутого контура «ВС-ИАСУП». На основании проведённого анализа открытых источников по существующим крупным производителям аэрокосмического оборудования, таким как Rockwell Collins, Honeywell, Thales, BAE systems, ЦНТУ «Динамика» и др. был сделан вывод о закрытости и конфиденциальности информации, касающейся проектирования и разработки подобных систем [1, 5-9]. Кроме, того предварительная оценка их стоимости (порядка сотен тысяч долларов) указывает на целесообразность разработки собственной реализации.

При разработке системы была поставлена цель реализации полного цикла разработки, во-первых, ММ ДУД ВС и основных систем управления (ОСУ) ВС и, во-вторых, создание именно унифицированной интеллектуальной автоматической системы управления полётом (УИАСУП) ВС.

При этом к системе предъявлялись следующие требования:

- простота, гибкость, дружелюбный интерфейс, ориентированный на исследователя-экспериментатора;
- наличие инструментария для итеративного построения ММ ДУД ВС с возможностью детального моделирования ОСУ и дальнейшей возможностью её верификации на основе данных лётных испытаний;
- возможность использования платформы ИМ замкнутого контура разработанных ММ ДУД ВС и УИАСУП в режиме реального времени;
- наличие интерфейса разработчика ИАСУП ВС и системы интерактивного анимационного моделирования;
- совместимость с центральной вычислительной системой (ЦВС), реализующей ИМ ДУД в составе тренажёра, транспорт межпроцессного взаимодействия.

Система, реализующая ИМ ДУД замкнутого контура «ВС-ИАСУП», должна позволять отрабатывать режимы автоматического пилотирования и самолётоведения в сложных метеорологических условиях, во всех регионах земного шара, на всех этапах полёта ВС – от взлёта до посадки [10-12].

### Описание структуры полного жизненного цикла «ВС-УИАСУП»

При более детальном рассмотрении постановки задачи становится очевидной, потребность в принятии решений по определённым поставленным требованиям, что является необходимым для продвижения проектируемой системы на следующую жизненную стадию. Поэтому возникла существенная причина применения нами описаний полного жизненного цикла.

Полный жизненный цикл неотделим от рассматриваемой системы, а именно замкнутого контура ДУД «ВС-УИАСУП», и при этом особенности данной системы порождают большое количество возможных его описаний. Поэтому для того чтобы, создать его полноценное описание, необходимо понимать какое количество компонент он должен в себя включать. На приведённой ниже блок-схеме (рис. 1) отражены

главные стадии, так называемые крупные периоды жизненного цикла, которые были выделены при описании жизненного цикла системы ИМ ДУД замкнутого контура «ВС-УИАСУП»:

1. Формальное описание объектов ИМ.
2. Использование инструментальных средств разработки и верификации ММ ДУД ВС.
3. Реализация распределённой вычислительной системы (РВС) управления и ИМ ДУД ВС.

Каждой стадии полного жизненного цикла соответствует определенный результат и набор необходимой документации, которые являются исходными данными для следующей стадии.

Рассмотрим подробнее отдельные этапы жизненного цикла. При этом принцип работы вышеназванных трёх стадий полного жизненного цикла можно изложить следующим образом.

Вначале, на основе требований, выдвинутых при постановке задачи, были формализованы описания объектов ИМ. Затем, исходя из описания, выбраны средства разработки и верификации, при этом, часть существующих средств была доработана, а часть разработана с нуля. Существует целесообразность разделения единого инструментария между этапами 2 и 3. По завершению каждого этапа производится верификация документов и решений с целью проверки их соответствия первоначальным требованиям. Не следует забывать, что каждая стадия жизненного цикла состоит из совокупности подстадий (более мелких элементов), что из соображений объёма данной статьи не приведено.

Перечислим особенности инструментальных средств разработки и верификации:

- ориентированы на исследователя-экспериментатора;
- используют разделяемое математическое обеспечение ИМ ДУД ВС;
- представляют результаты ИМ в виде, удобном для анализа;
- позволяют модифицировать как параметры, так и структуру УИАСУП;
- визуализируют процесс ИМ ДУД ВС.

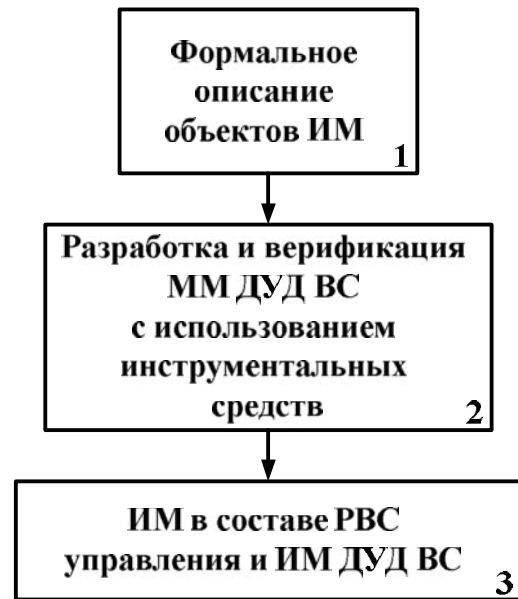


Рис. 1. Стадии жизненного цикла «ВС-УИАСУП»

Касательно созданной РВС, то она использует модульно-иерархический принцип построения и состоит из:

- сервера воздушной обстановки (СВО), который обеспечивает гибкую масштабируемость и управляет РВС ИМ ДУД ВС с предоставлением единого интерфейса;
- сервера ДУД моделирующего совокупность ВС, и состоящего из модели ДУД ВС, моделей ОСУ ВС, УИАСУП, унифицированного модуля искусственного интеллекта (ИИ) с поддержкой принятия решений, транспорта межпроцессного взаимодействия, совместимого с ЦВС заказчика.

Далее мы более подробно рассмотрим состав и определим особенности подсистем входящих, в спроектированную РВС.

### **Сервер динамики управляемого движения (СДУД)**

Как уже было сказано выше, для организации централизованного управления множества ВС, обработки, структурирования и хранения данных используется выделенный вычислительный ресурс, а именно СДУД. При этом СДУД имеет такие особенности:

- основан на расширяемом документированном математическом обеспечении для расчёта ДУД ВС;
- использует достаточно полную нелинейную ММ ДУД ВС с решением уравнений абсолютного пространственного движения ВС в реальном масштабе времени;
- имеется возможность подключения существующих моделей ДУД ВС при наличии массовых, инерционных, аэродинамических, геометрических, лётно-технических характеристик ВС;
- имитационное моделирование ОСУ ВС при наличии их описания;
- параллельное ИМ множества ВС в режиме реального времени, гибкость настройки их параметров;
- -возможность масштабирования вычислительной нагрузки путём изменения точности расчёта счисления ДУД в реальном времени, отдельно для каждого ВС;
- возможность конфигурации каждой ММ ВС произвольным вектором состояния в любой момент времени под задачи системы реального времени позволяет, например, устанавливать массу и центровку ВС, уровень аэродрома, составлять сценарий полёта ВС в соответствии с руководством по лётной эксплуатации (РЛЭ);
- управление процессом ИМ (остановка, запуск, задание масштаба времени);
- выдача информации о текущих параметрах движения ВС;
- имитация взлётно-посадочной полосы (ВПП) и навигационной обстановки. При этом ИМ полётов в неспокойной атмосфере выполнено путем описания ветровых воздействий в виде одиночных порывов и сдвигов ветра с возможностью задания требуемой скорости и направления ветра [13-15];
- взаимосвязь подсистем при получении и передаче команд управления, параметров движения каждого ВС;
- возможность реализации интерактивного процесса ИМ с помощью включения человека-

оператора в контур управления ВС (виртуальный пилот). При этом имеется возможность учитывать его индивидуальные особенности в решении конкретной задачи пилотирования, что определяется его теоретической и практической подготовкой, пониманием ДУД ВС в различных ситуациях, знанием соответствующих инструкций РЛЭ и умением грамотно эксплуатировать ИАСУП [2, 16]. Управляющие воздействия виртуального пилота моделируются в рамках заданного сценария полёта, включающего характерные задачи и процедуры пилотирования ВС. Создание ММ ДУД ВС производится в интерактивном режиме из специальных блоков разработанного программного комплекса.

### УИАСУП

Известно, что проектирование новых и адаптация имеющихся математических технологий, методов синтеза ИАСУП ВС с минимальными временными и материальными затратами является перво-степенной комплексной инженерно-математической задачей. Разработанная УИАСУП отвечает современным требованиям предъявляемых к ИАСУП ВС, имеет оригинальную структуру, в которую сведены базовые контуры каналов управления и накладываемые ограничения. УИАСУП носит универсальный характер и может быть эффективно использована при разработке ИАСУП для различных типов ВС, позволяя при этом эффективно решать задачи автоматического управления полётом ВС, проводить исследования с целью оценки динамики управляемого полёта ВС в различных условиях эксплуатации, включая моделирование отказов функциональных систем ВС [2-4, 10, 17].

УИАСУП обеспечивает автоматическое пилотирование и самолётовождение ВС на всех этапах движения, при этом, ИМ полёта ВС выполняется по траекториям заданным соответственно стандартам управления воздушным движением с одновременной 3D-визуализацией полёта ВС. Проектирование УИАСУП производится в интерактивном режиме на базе библиотеки блоков необходимых для её со-

здания, при этом доступны программы обработки, документирования результатов ИМ, анализа характеристик устойчивости и управляемости ВС. В соответствии с поставленными задачами при разработке полного жизненного цикла ИМ ДУД замкнутого контура «ВС-ИАСУП» разработаны также алгоритмы работы УИАСУП на режимах «Взлёт» и «Посадка». Для режима «Посадка» разработана ММ курсоглиссальной системы, которая формирует управляющие сигналы для УИАСУП.

Полученные результаты позволяют проводить анализ особых условий эксплуатации ВС, на этапах «Взлёт» и «Посадка», которые выходят за рамки разрешённых, с целью оценки предельных

На рис. 2 представлен результат тестирования и отладки навигационных алгоритмов, в частности здесь отработывался автоматический полёт ВС по достаточно сложному маршруту, с ограничениями на истинную воздушную скорость (ИВС) полёта, высоту, скорость набора высоты/снижения. Точками обозначены промежуточные пункты маршрута (режим Fly-Over – дословно: полёт на точку с её обязательным прохождением).

### Унифицированный модуль ИИ

В процессе описания конкретной полётной ситуации для ВС, в виде сценария формируются, харак-

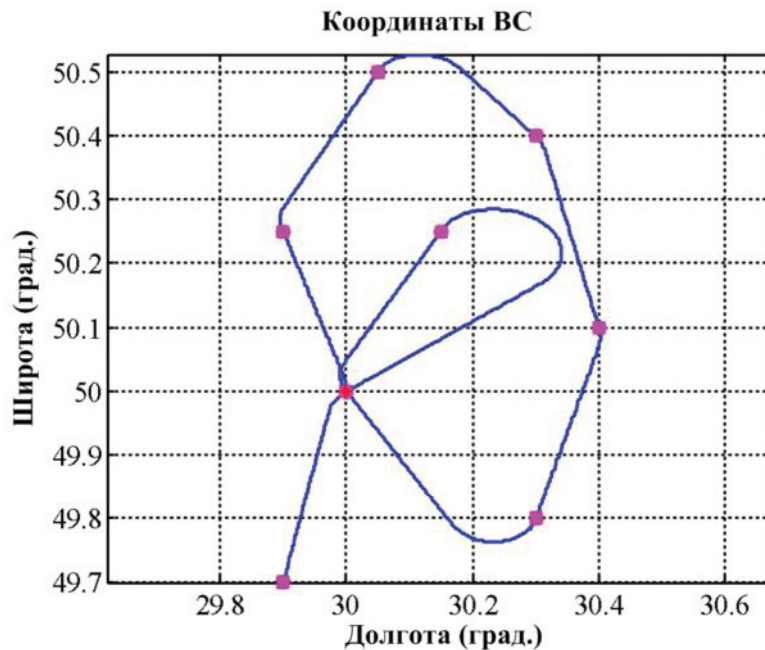


Рис. 2. Результат отладки навигационных алгоритмов

эксплуатационных возможностей ВС. Исследовать поведение ИАСУП на различных режимах работы и в различных условия эксплуатации с целью оценки её эффективности и определения путей совершенствования.

терные события будущего полёта, критерии их распознавания унифицированным модулем ИИ.

Таким образом, унифицированный модуль ИИ обеспечивает принятие решений при автоматическом управлении ВС (в объёме РЛЭ):

- выпуск и уборка шасси;
- управление положением закрылков, предкрылков;
- управление положением интерцепторов;
- применение тормозных механизмов колёс;
- уход на второй круг и другие процедуры.

Блок-схема программного комплекса, реализующего полный замкнутый жизненный цикл ИМ, представлена на рис. 3. Как видно из блок-схемы, по результатам сформулированной постановки задачи выполняется проектирование и верификация ММ с использованием высокоуровневых инструментальных

программного обеспечения для вычисления ДУД ВС. Далее производится комплексное тестирование реализованной ММ в составе распределенной системы моделирования. При необходимости доработки ММ возможен возврат на этап проектирования и верификации без выполнения обратной инженерии ММ. РВС использует транспорт межпроцессного взаимодействия, совместимый с конкретной ЦВС.

### Пример. ИМ процедуры «Взлёт»

Сложность проектирования и отработки алгоритмов автоматического управления взлётом связана с не-



Рис. 3. Блок-схема полного замкнутого жизненного цикла ИМ ДУД ВС

средств. При этом инструментальные средства разделяют единое математическое обеспечение вычисления ДУД ВС. Они позволяют обеспечивать оценку точности и непротиворечивости ММ. После этого разработанные ММ прозрачно загружаются в РВС реального времени. Прозрачность загрузки обеспечивается использованием разделяемого со стадией разработки

которыми специфическими особенностями, которые характерны для этого участка траектории [2, 4, 12, 18]. Такими особенностями в первую очередь являются:

- существенно нелинейный характер аэродинамических характеристик ВС на больших углах атаки, возникающий при отрыве передней стойки шасси;

- наличие особых этапов движения ВС: предварительный/исполнительный старт, руление, отрыв, уборка шасси и механизации, набор высоты;
- значительное проявление перекрёстных связей продольного и бокового движений ВС;
- значительное влияние сдвига ветра на взлёт ВС;
- нестационарность динамики полёта вследствие влияния близости земной поверхности на аэродинамические характеристики ВС.

Эти особенности определяют необходимость тщательного исследования ИАСУП на этапе взлёта для обеспечения требуемой точности и повышения уровня безопасности при взлёте в автоматическом режиме.

Рассмотрим ММ ВС, которая используется при проектировании сложной системы, реализующей полный жизненный цикл ИМ ДУД замкнутого контура «ВС-УИАСУП».

Учитывая громоздкость нелинейной модели, представим её в общем виде:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= F(x, u, w) \\ y &= Cx + d \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь вектор состояния  $x$  имеет вид:

$x = [V, M, \alpha, \beta, p, q, r, \varphi, \theta, \psi, \phi, \lambda, H, n, a]^T$ , где  $V$  – ИВС ВС,  $M$  – число Маха,  $\alpha$  – угол атаки;  $\beta$  – угол скольжения;  $p$  – угловая скорость крена;  $q$  – угловая скорость тангажа;  $r$  – угловая скорость рыскания;  $\varphi$  – угол крена;  $\theta$  – угол тангажа;  $\psi$  – угол рыскания;  $\phi, \lambda$  – географические широта и долгота текущего местоположения ВС;  $H$  – высота полёта; вектор перегрузок  $n = [n_x, n_y, n_z]$  ВС в проекциях на связанные оси; вектор абсолютных ускорений  $a = [a_x, a_y, a_z]$  ВС в проекциях на связанные оси. Вектор управления  $u$ :

$$u = [\delta_A, \delta_E, \delta_R, \delta_F, \delta_S, \delta_I, \delta_{RT}, \delta_G, \delta_N, \delta_B, \Omega]^T,$$

где  $\delta_A, \delta_E, \delta_R, \delta_F, \delta_S, \delta_I$  – углы отклонения элеронов, руля высоты, направления, закрылков, предкрылков, интерцепторов, соответственно;  $\delta_{RT}$  – реверсивное устройство ВС;  $\delta_G$  – положение шасси ВС;  $\delta_N$  – управление поворотными колесами носовой опоры шасси ВС;  $\delta_B$  – управление тормозами ВС;  $\Omega$  – тяга силовой установки ВС;  $w$  – вектор внешних ветровых возмущений;  $d$  – вектор шумов измерений. Матрица измерений  $C$  в этом случае имеет вид:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & O_{1 \times 1} & O_{1 \times 17} \\ O_{17 \times 1} & I_{17 \times 17} & O_{17 \times 1} \\ O_{1 \times 17} & O_{1 \times 1} & 1 \end{bmatrix},$$

где  $I_{17 \times 17}$  – единичная матрица размером (17x17),  $O_{i \times j}$  – нулевые матрицы размером  $i \times j$ .

В качестве достаточно полной нелинейной ММ объекта используются широко известные уравнения сил и моментов, кинематические соотношения для углов Эйлера и линейных координат. Поскольку силы и моменты, действующие на ВС в полёте, являются сложными функциями, как высоты, скорости полёта, так и компонент вектора состояния ВС, то дальнейшее развертывание системы уравнений (1) приводит к сложным и объемным выражениям, представление которых значительно превышает объем данной статьи и поэтому здесь не приводится. Подробное описание полной системы уравнений ДУД ВС приводится в большом количестве различных литературных источников [2, 3, 7, 14-16].

Рассмотрим работу УИАСУП на этапе взлёта для ВС с такими параметрами: масса 45000 кг; длина 29 м; размах крыла 28 м; площадь крыла 108 м<sup>2</sup>; крейсерская скорость 650 км/ч; момент инерции  $I_x: 0.762 \cdot 10^6$  кг\* м<sup>2</sup>,  $I_y: 2 \cdot 10^6$  кг\* м<sup>2</sup>,  $I_z: 2.6 \cdot 10^6$  кг\* м<sup>2</sup>,  $I_{xz}: 0.011 \cdot 10^6$  кг\* м<sup>2</sup> [2, 11, 18, 21].

На рис. 4 приведены некоторые результаты ИМ процедуры «Взлёт». На рис. 4а показан график переходного процесса изменения высоты полёта ВС. В начале ИМ ВС находится на предварительном

старте; происходит выпуск закрылков и предкрылков во взлётное положение; этап исполнительного старта: ВС находится по оси ВПП в направлении взлёта, проводится проверка курса взлёта - 297 градусов.

Перед разбегом включается управление передней стойкой шасси; увеличивается режим работы двигателей необходимый для плавного трагивания; происходит руление ВС по ВПП на расстояние 10 метров по прямой с дальнейшим торможением колёсами (30-я с). Далее УИАСУП получает команду на разрешение взлёта; синхронно автоматически отпускаются тормоза ВС (65-я с) и ручка управления двигателями (РУД) переводится во взлётное положение (фактически всё выполняет УИАСУП); при достижении скорости  $V_R$  подъёма передней стойки шасси для обеспечения отрыва УИАСУП “отклоняет” штурвал “на себя”, происходит отрыв ВС от ВПП (89-я с), далее УИАСУП удерживает угол тангажа ВС  $8^\circ$ . При достижении скорости набора высоты  $V_2$ , при высоте не менее 6 метров и положительной вертикальной скорости набора высоты автоматически убираются шасси (93-я с). С высоты 200 м и при достижении ВС ИВС полёта  $V_3$  УИАСУП производит уборку механизации крыла в полётное положение (115-я с).

В процессе набора высоты УИАСУП производит удержание ИВС полёта 450 км/ч (125-я с), далее для проверки работы автомата тяги УИАСУП принимает решение удерживать ВС ИВС полёта 550 км/ч (200-я с). Всё это время ВС находится в наборе высоты, при достижении высоты полёта 1500 м отключается стабилизация угла тангажа и УИАСУП переключается на режим удержания высоты - 2000 м. Для проверки работоспособности режима удержания высоты после процедуры “Взлёт”, УИАСУП принимает решение произвести снижение и занятие ВС высоты полёта 1000 м (400-я с). Как видно на рис. 4г снижение с высоты полёта 2000 м до 1000 м с вертикальной скоростью снижения 10 м/с сопровождалось постепенным превышением ИВС полёта над заданной, несмотря на работу автомата тяги. После занятия высоты 1000 м обеспечивается удержание ВС заданной ИВС полёта. Рис. 4а также показывает

возможность управляемого увеличения вертикальной скорости снижения и набора ВС с контролем заданных ограничений.

На рис. 4д приведены результаты ИМ перехода ВС на новый курс -  $90^\circ$  градусов (600-я с). На графике 4е показан переходной процесс по углу крена. Как видно, УИАСУП за всё время полёта ВС стабилизировала практически нулевой угол крена, а после задания команды на смену курса ВС начало выполнять координированный разворот, то есть стабилизацию курса через канал крена, при этом в УИАСУП было задано ограничение на максимальный крен  $30^\circ$ . На рис. 4б приведены результаты характерного влияния (проявление перекрёстных связей продольного и бокового движений ВС) угла крена на параметры движения ВС при переходе на новый курс, а именно изменение угла тангажа ВС, что сопровождается незначительной просадкой ВС по высоте. Тем не менее, УИАСУП восстанавливает параметры движения ВС, обеспечивая выполнение смены курса с компенсацией потери высоты полёта ВС.

## Выводы

Исходным материалом для написания данной статьи послужили результаты работы над инженерным тренажёром для обеспечения научно-исследовательских и проектных работ по созданию авиационных тренажёров, испытательных пилотажных стендов, имитаторов акселерационных воздействий, комплексов полунатурного моделирования. Поэтому были рассмотрены основные подходы при проектировании сложной системы, реализующей полный жизненный цикл ИМ ДУД замкнутого контура «ВС-УИАСУП». Приведены практические примеры разработки и применения. Рассмотрены некоторые аспекты инструментальных средств разработки и верификации ММ ДУД ВС, РВС, СДУД. Показано практическое применение ММ ВС и УИАСУП в составе инженерного тренажёра, работающих в условиях реального времени. Рассмотрена полная имитация процедуры «Взлёт».

Спроектирована УИАСУП являющаяся универсальной платформой для отработки методов, техно-



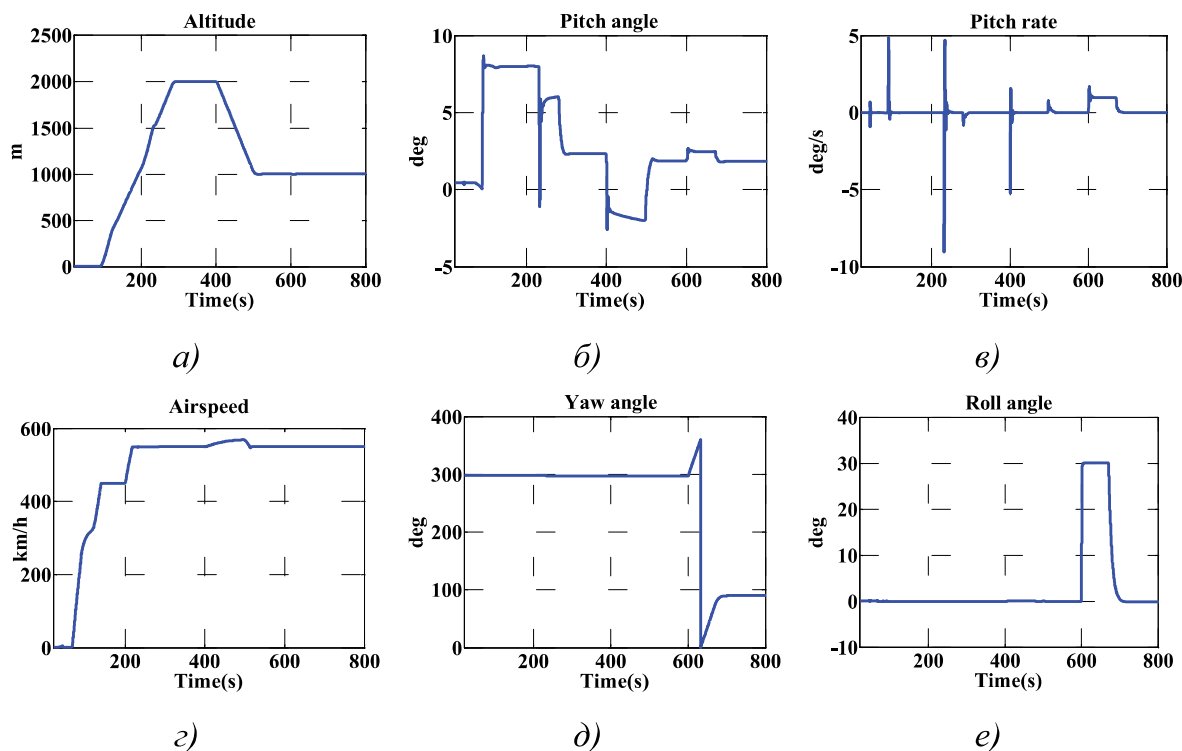


Рис. 4. Переходные процессы изменения:  
 а) высоты ВС; б) угла тангажа; в) скорости изменения угла тангажа;  
 г) ИВС ВС; д) курса ВС; е) угла крена

логий построения адаптивных и робастных регуляторов для систем автоматического управления полётом ВС, позволяющая дорабатывать нелинейные ММ ВС, для повышения её надёжности, улучшения характеристик устойчивости, управляемости и повышения уровня безопасности полётов ВС.

Разработанный сложный универсальный программный комплекс обеспечивает проведение прак-

тически полного перечня испытаний ИАСУП ВС, что в значительной мере сокращает требуемое время и финансовые затраты на испытания. В целом созданный программный комплекс позволяет разработать рекомендации по совершенствованию и повышению эффективности ИАСУП и соответствию ВС нормам лётной годности в нормальных и особых случаях полёта, используя ИМ.

### Список литературы

1. Waltman G. L. Black magic and gremlins: Analog flight simulations at NASA's Flight Research Center / G. L. Waltman. – Washington, DC 20546, 2000. – 232 p.
2. Roskam J. Airplane Flight Dynamics and Automatic Flight Controls / J. Roskam. – Darcorporation, Volume 1, 2, 6<sup>th</sup> edition, 2001. – 992 p.
3. Nelson R. C. Flight Stability and Automatic Control / R. C. Nelson. – McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2 edition, 1997. – 456 p.

4. Zipfel P. H. Modeling and Simulation of Aerospace Vehicle Dynamics / P. H. Zipfel. – Reston, Virginia, 2007. – 621 p.
5. [www.rockwellcollins.com/Products\\_and\\_Systems/Simulation.aspx](http://www.rockwellcollins.com/Products_and_Systems/Simulation.aspx)
6. [www.honeywell.com/Products-Services/Pages/aerospace-defense.aspx](http://www.honeywell.com/Products-Services/Pages/aerospace-defense.aspx)
7. [www.thalesgroup.com](http://www.thalesgroup.com)
8. [www.baesystems.com](http://www.baesystems.com)
9. [www.dinamika-avia.ru](http://www.dinamika-avia.ru)
10. Military specification flight control systems-design, installation and test of piloted aircraft. Tech. Rep. MIL-F-9490D, 1975.
11. Aircraft Control Toolbox User's Guide, Princeton Satellite Systems, Princeton, NJ, USA, 2003.
12. Гуськов Ю. П. Управление полетом самолета / Ю. П. Гуськов, Г. И. Загайнов. – М.: Машиностроение, 1980. – 216 с.
13. Доброленский Ю. П. Динамика полёта в неспокойной атмосфере / Ю. П. Доброленский. – М.: Машиностроение, 1969. – 256 с.
14. U.S. Standard Atmosphere, 1976, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
15. U.S. Military Handbook MIL-HDBK-1797, 19 December 1997.
16. McRuer D. T. Mathematical Models of Human Pilot Behavior / D. T. McRuer, E. Krendel Advisory. – AGARD-AG-188, 1974. – 84 p.
17. Magni J. F. Robust Flight Control: a Design Challenge / J. F. Magni, S. Bennani, J. Terlouw. – London, Berlin, New York etc., 1997. – 649 p.
18. Stevens B. L. Aircraft Control and Simulation / B. L. Stevens, F. L. Lewis. – Wiley-Interscience, 2003. – 680 p.
19. McFarland R. A. Standard Kinematic Model for Flight Simulation at NASA-Ames / R. A. McFarland. – NASA, Computer Sciences Corporation, 1975. – 44 p.
20. Эткин Б. Динамика полёта. Устойчивость и управляемость / Б. Эткин. – М.: Машиностроение, 1964. – 494 с.
21. Остославский И. В. Аэродинамика самолёта / И. В. Остославский. – М.: Оборонгиз, 1957. – 556 с.

## ТЕХНИЧЕСКОЕ РАССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

**Барыбин Д.А.,**

директор ОФ ООО «ГорМаш-ЮЛ»,  
эксперт Единой системы оценки в горнорудной промышленности,  
специалист по неразрушающему контролю 2-го уровня.

**Абель Ю.В.,**

начальник лаборатории неразрушающего контроля,  
эксперт Единой системы оценки в горнорудной промышленности.

*Barybin\_da@list.ru*

**Аннотация.** Возникновение аварий на опасных производственных объектах в РФ – достаточно частое явление. Одним из основных мероприятий, по снижению их количества и установлению причин, является техническое расследование аварий. Несмотря на то, что экспертиза безопасности производственных объектов является обязательным требованием к их эксплуатации, аварии до сих пор не являются исключением. Высокие показатели аварийности в совокупности с высоким количеством смертей в результате возникновения аварий указывают на необходимость ужесточения требований к проведению технического расследования аварий на опасных производственных объектах. В данной работе рассмотрены основные аспекты технического расследования аварий. Проанализированы основные нормативно-технические документы, посвященные техническому расследованию аварий. Согласно проанализированным данным следует отметить, что организация технического расследования аварий весьма безупречна и на законодательном уровне прописана до мелочей, однако стоит порекомендовать усилить роль мероприятий по предотвращению аварий на опасных производственных объектах и усилить экспертизу промышленной безопасности. Формирование обратной связи между результатами технического расследования аварий и экспертизой промышленной безопасности является решением к повышению безопасности на производственных объектах.

**Ключевые слова:** аварии, техническое расследование, промышленная безопасность.

## TECHNICAL INVESTIGATION INTO THE CAUSES OF ACCIDENTS AT HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES

**Barybin D.A.,**

director of PF LLC "GorMash-UL" expert uniform evaluation system in the mining industry,  
a specialist in NDT Level 2.

**Abel Y.V.,**

Head of Laboratory of nondestructive testing,  
expert uniform evaluation system in the mining industry.

**Abstract.** The origin of accidents at hazardous production facilities in Russia is a common appearance. One of the major activities to reduce their number and the causes is the technical investigation of accidents. Despite the fact that the examination of safety of production facilities is a mandatory requirement for their exploitation, accidents are still no exception. High accident indexes in conjunction with the high number of deaths as a result of accidents indicate the need for more stringent requirements to conduct technical investigations of accidents at hazardous production facilities. In this paper, the basic aspects of technical investigation of accidents were considered. The main legal and technical documents on the technical investigation of accidents were analyzed. According to the analyzed data it should be noted that the organization of the technical investigation of accidents is quite flawless and spelled out in law to the last detail, but it is worth to recommend to strengthen the role of actions to prevent accidents at hazardous production facilities and enhance the expertise of industrial safety. Formation of feedback between the results of the technical investigation of accidents and expertise of industrial safety is a solution to improve safety at work sites.

**Keywords:** accident, technical investigation, industrial safety.

**В**озникновение аварий на опасных производственных объектах в РФ – достаточно частое явление. Одним из основных мероприятий, по снижению их количества и уста-

новлению причин, является техническое расследование аварий. Несмотря на то, что экспертиза безопасности производственных объектов является обязательным требованием к их эксплуатации,

аварии до сих пор не являются исключением. По данным Межгосударственного совета по промышленной безопасности на всех опасных производственных объектах в РФ в 2013 г. общее количество зарегистрированных аварий было равно 144. Эта цифра достаточно высока, однако кроме того, существует и другой показатель – количество аварий, которые сопровождаются травматизмом людей. Данная цифра достаточно высока и составила 54 аварии [1]. Эти данные указывают на большую значимость технического расследования причин аварии в повышении общего уровня производственной безопасности и предотвращения возникновения аварий.

Техническое расследование причин аварий на опасном производственном объекте должно проводиться по каждому факту возникновения аварии. Расследование проводится комиссией, которую возглавляет представитель Ростехнадзора (эти функции могут выполняться как федеральным ведомством, так и территориальным). Состав комиссии является достаточно важным фактором в достоверном и эффективном расследовании причин аварии.

В состав комиссии по расследованию причин аварии входят:

- Представители субъекта РФ и (или) органа местного самоуправления, на территории которых располагался аварийный объект;
- Представители от организации, которая эксплуатирует данный объект;
- Представители страховщика, с которым организация, эксплуатирующая опасный производственный объект, заключила договор обязательного страхования гражданской ответственности;
- Другие представители в соответствии с законодательством РФ [3].

Комиссия по техническому расследованию аварии не всегда может проводить расследование самостоятельно, поэтому для повышения его эффективности разрешено привлекать к нему экспертов в

области промышленной безопасности, различные экспертные организации и специалистов по проектированию, научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам, изготовлению оборудования и других [2, 3]. С нашей точки зрения данный подход является достаточно эффективным, поскольку должностные лица Ростехнадзора могут не являться специалистами в достаточно узких областях, и только эксперты в определенной области, которые знают технологический процесс, эксплуатируемое оборудование, технологию и другие аспекты, могут дать достоверную оценку случившемуся. В любом случае, роль комиссии в работе с приглашенными организациями заключается в анализе полученной информации и выяснении достоверных (наиболее вероятных) причин возникновения аварии.

В особых случаях Президент и Правительство РФ могут участвовать в принятии решения о создании комиссии (государственной комиссии) по расследованию причин аварий и принимать участие в назначении председателя комиссии. В свою очередь организация, которая эксплуатирует аварийный объект, вместе с работниками должны в обязательном порядке предоставить комиссии полный перечень информации для расследования причин аварии. В большинстве случаев, причина возникновения аварии некоторым образом связана с проведенной экспертизой промышленной безопасности и поэтому организация, которая производила экспертизу, должна предоставить всю необходимую информацию.

Комиссия по техническому расследованию причин аварии выполняет целый ряд мероприятий:

- Фотосъемку и осмотр места аварий;
- Составление документов об осмотре места аварий, эскизов и схем;
- Мероприятия по взаимодействию с органами по борьбе с чрезвычайными ситуациями;
- Опрос очевидцев и должностных лиц (в письменной форме);

- Выяснение обстоятельств аварии и ее причин;
- Выяснение нарушений технологических процессов и правил эксплуатации оборудования, правомерность проектных и технологических решений;
- Проверку квалификации персонала и средств защиты;
- Анализ нарушений и т.д.

Результаты технического расследования причин аварии заносятся в акт, который должен отражать следующие моменты:

- Причины и обстоятельства аварии;
- Перечень нарушений требований промышленной безопасности;
- Размер вреда, который был причинен;
- Перечень лиц, которыми были допущены нарушения;
- Перечень мер по ликвидации и локализации последствий аварий;
- Список предложений для предупреждения подобных аварий.

В итоге, все собранные материалы технического расследования направляются в Ростехнадзор или другие заинтересованные органы. Помимо выявления технических причин аварии, комиссия обязана сделать расчет экономического (в том числе экологического) ущерба от аварии. Документация по расчету ущерба может быть направлена в соответствующие аудиторские организации.

Финансирование проведения расследования производится за счет средств организации, на которой произошла авария. Практически в большинстве случаев результатом аварии является причинение вреда жизни и здоровью граждан, поэтому 226-ФЗ устанавливает компенсации в счет причинения ущерба. В случае смерти потерпевшего (кормильца), гражданам выплачивается компенсация в размере двух миллионов рублей. В случае причинения вре-

да здоровью, компенсация устанавливается по нормативам, которые утверждены Правительством РФ. Однако, согласно ФЗ выплата компенсации не освобождает лицо, виновное в причинении вреда, от ответственности и компенсация может быть выше указанных сумм.

Особенно важно восстановить непрерывную, стабильную и безаварийную работу производства после проведения технического расследования причин аварии. В соответствии с Федеральным законом [4] руководителю организации в течение трех дней предписывается издать приказ, который обеспечит стабильную работу производства.

Материалы технического расследования аварии направляются в Ростехнадзор и по результатам их рассмотрения могут быть приняты решения о согласовании или изменении выводов комиссии расследованию причин аварии, о необходимости проведения дополнительного расследования (при условии того же состава комиссии), или о проведении повторного расследования с назначением другого состава комиссии.

Согласно проанализированным данным можно отметить, что организация технического расследования аварий весьма безупречна и на законодательном уровне прописана до мелочей, однако стоит порекомендовать усилить роль мероприятий по предотвращению аварий на опасных производственных объектах и усилить экспертизу промышленной безопасности. Нельзя не отметить, что многие выводы, полученные на основании технического расследования аварии, могут быть учтены при проведении экспертизы промышленной безопасности.

Формирование обратной связи между результатами технического расследования аварий и экспертизой промышленной безопасности является решением к повышению безопасности на производственных объектах.

### Список источников

1. Электронный ресурс. Режим доступа: [http://www.mspbsng.org/stat\\_accident/2013](http://www.mspbsng.org/stat_accident/2013)
2. Федеральный закон РФ от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
3. Федеральный закон РФ от 21.07.2010 № 226-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте».
4. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 23 апреля 2008 г. N 261 г. Москва «Об утверждении Порядка проведения технического расследования причин аварий и инцидентов на объектах, поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору».

**ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ ИСХОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ  
НА КОЭФФИЦИЕНТ НАБУХАНИЯ И PH РАСТВОРА СИСТЕМЫ  
Г-ПАК – Г-ПЭИ В ПРИСУТСТВИИ ИОНОВ ПЕРЕХОДНЫХ  
D–МЕТАЛЛОВ (CO<sup>2+</sup>, NI<sup>2+</sup>, CU<sup>2+</sup>)**

**Торбеков О.Т.,**  
научный сотрудник, Университет КазНУ им. Аль-Фараби,  
**Джумадилов Т.К.,**  
главный научный сотрудник, Университет КазНУ им. Аль-Фараби  
**Дуйсенова М.У.,**  
магистрант кафедры прикладной химии, Университет КазНТУ им. К.И. Сатпаева,  
marzhanduysenova@gmail.com

**Аннотации.** Рассмотрено влияние соотношения исходных компонентов на коэффициент набухания и pH раствора системы гель-полиакриловой кислоты (г-ПАК) – гель-полиэтиленimina (г-ПЭИ) в присутствии ионов переходных d-металлов. А также изучена зависимость степени связывания ионов переходных d-металлов от соотношения исходных компонентов.

**Ключевые слова:** коэффициент набухания, г-ПАК, г-ПЭИ, степень связывания.

**EFFECT OF THE RATIO OF THE INITIAL COMPONENTS ON THE  
SWELLING RATIO AND PH OF THE SOLUTION OF G-PAA - G-PEI IN THE  
PRESENCE OF TRANSITION D-METALS (CO<sup>2+</sup>, NI<sup>2+</sup>, CU<sup>2+</sup>)**

**Torebekov O.T.,**  
**Jumadilov T.K.,**  
Al-Farabi University Kazakh National University.  
**Duseinova M.U.**  
Satpaev University Kazakh National

**Annotation.** The influence of the ratio of the starting components for the swelling ratio and the pH of the gel solution of polyacrylic acid (g-PAA) - gel polyethylenimine (g-PEI) in the presence of ions of transition d-metals. As well as the dependence of the degree of binding of ions of transition d-metals ratio of the starting components.

**Keywords:** swelling coefficients, g-PAA, g-PEI, binding degree.

### Введение

**И**звестно, что полимерные гидрогели обладают высокой комплексообразующей способностью по отношению к ионам переходных металлов из-за наличия в структуре макролигандов ионных и донорных функциональных групп. В присутствии отрицательно заряженных функциональных групп комплексообразование протекает по ионному, а в случае аминокрупп, поставляющих неподеленную пару электронов свободным d-орбиталям металлов, – по донорно-акцепторному механизму. Изучение полимерметаллических комплексов актуально с точки зрения решения важнейших задач охраны окружающей среды (очистка природных и сточных вод), создания термостойких полимерных

материалов. В связи с этим нами были изучено комплексообразование катионных и анионных гидрогелей с ионами переходных металлов. Для исследования были выбраны сульфаты кобальта, никеля и меди. В качестве полимерного носителя представлялось интересным использовать гидрогели ПЭИ, ПАК. Комплексообразующая способность г-ПЭИ обусловлена наличием в цепи иминогрупп, вступающих с ионами металлов в донорно-акцепторную связь. Акцептором служит ион металла, имеющий вакантные d-орбитали, донором – атом азота, представляющий пару электронов для образования связи [1]. При исследовании взаимодействия двух гидрогелей с ионами металлов созданы такие условия, при которых два геля не имели контакта между собой. Они были

помещены в отдельные бюксы, которые разделены стеклянным фильтром, проницаемые для низкомолекулярных соединений металлов.

### Экспериментальная часть

Гель *полиакриловой кислоты* путем радикальной полимеризации мономеров акриловой кислоты в присутствии N,N-метиленабисакриламида в водной среде, при температуре 343К. В качестве инициатора использовали окислительно-восстановительную систему ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) [2]. Полученные образцы промывали дистиллированной водой до постоянного значения pH в течение двух недель. Высушили до постоянной массы при комнатной температуре.

Гель *полиэтиленimina* синтезировали по методике [3] из 10%-ных растворов предварительно синтезированных полимеров в среде диметилформамида в присутствии эпоксидного сшивающего агента-эпихлоргидрина при температуре 338К до точки гелеобразования. Полученный сшитый полимер обрабатывали в 0,1 М растворе соляной кислоты и многократно промывался в большом объеме воды в течение двух недель.

**Коэффициент набухания ( $K_n$ )** гидрогелей определяли гравиметрическим методом, как массу воды, приходящуюся на единицу массы сухого геля и вычисляли по формуле [4]:

$$K_n = \frac{m - m_0}{m_0},$$

где:  $K_n$  – коэффициент набухания, г/г.; m-масса набухшего гидрогеля, г.;  $m_0$ -масса сухого геля.

### Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 приведена зависимость коэффициента набухания геля ПЭИ и геля ПАК от соотношения исходных компонентов в присутствии ионов переходных d-металлов ( $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ).

Как свидетельствуют представленные данные при комплексообразовании гидрогеля полиакриловой кислоты с ионом кобальта(II) коэффициент набухания г-ПАК по мере добавления г-ПЭИ до соот-

ношения г-ПАК/г-ПЭИ=3:3 уменьшается, дальнейший рост мольного содержания в системе г-ПЭИ до г-ПАК/г-ПЭИ=1:5 приводит к максимальному значению  $K_n$  г-ПАК (рисунок 1а, кривая 1). В присутствии в изучаемой системе ионов меди (II) и никеля (II), в целом, наблюдается аналогичная зависимость коэффициента набухания геля ПАК от соотношения исходных компонентов. За исключением того, что в присутствии ионов никеля коэффициент набухания вначале до г-ПАК/г-ПЭИ=2:4 незначительно, а при г-ПАК/г-ПЭИ=1:5 заметно повышается. В присутствии ионов меди уменьшение  $K_n$  происходит до г-ПАК/г-ПЭИ=2:4. Это, по-видимому, обусловлено природой металла.

Полиэтиленimin с солями кобальта, никеля и меди образует интенсивно окрашенные комплексы. При взаимодействии г-ПЭИ с сульфатами переходных металлов коэффициент набухания увеличивается до соотношения г-ПАК/г-ПЭИ=5:1 в присутствии ионов никеля и меди, а для иона кобальта – 4:2, затем, проходя через максимум, уменьшается с ростом мольного содержания г-ПЭИ (рисунок 1, кривая 2). Увеличение коэффициента набухания может быть обусловлено значительным количеством сорбированных положительно заряженных ионов металла и концентрации противоионов.

Известно, что полиэлектролитные гидрогели обладают чувствительностью к pH и при изменении pH среды способны к ионизации. Гидрогели, содержащие кислотные группы, набухают в щелочной среде, но подвергается контракции в кислой, в то время как гидрогели с основными группами набухают в кислой среде и подвергаются контракции с повышением pH [5,6]. На рисунке 2 показано, что комплексообразование г-ПАК, г-ПЭИ с ионами переходных металлов сопровождается увеличением pH среды надгелевой жидкости, для всех систем pH меняется от 3,0 до 7,0. При этом повышение pH надгелевой жидкости наблюдается с увеличением мольного содержания г-ПЭИ. Изменение pH среды в процессе комплексообразования может служить количественной мерой глубины протекания реакции. При малом содержании ионов металла большая их часть находится в растворе, что



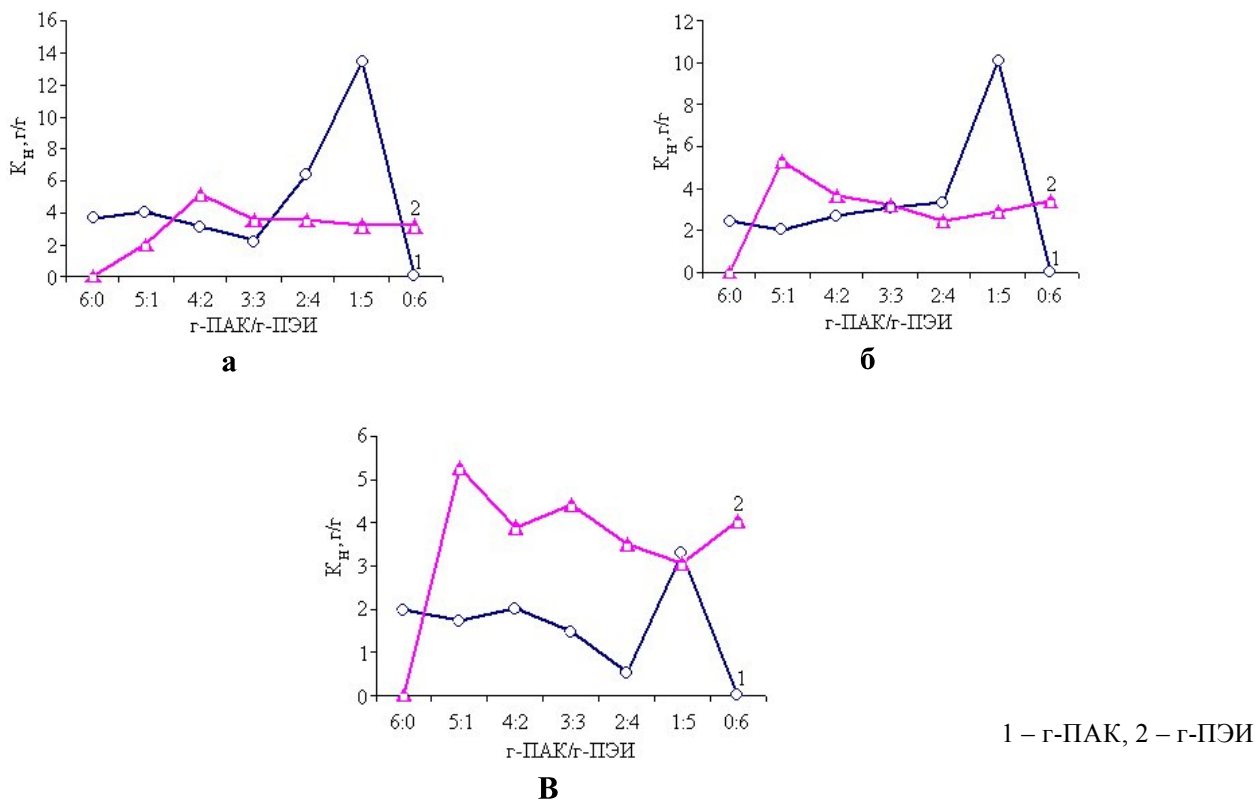


Рис. 1. Зависимость коэффициента набухания от соотношения исходных компонентов а –  $CoSO_4$ , б –  $NiSO_4$ , в –  $CuSO_4$

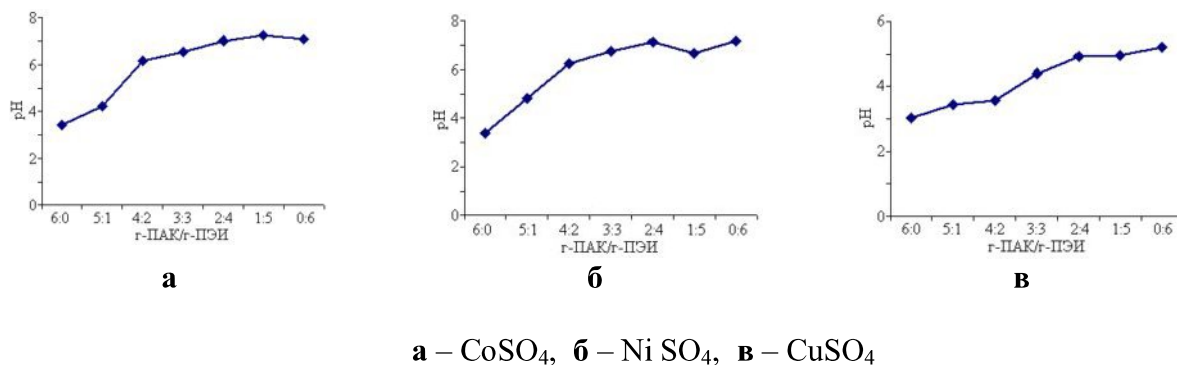


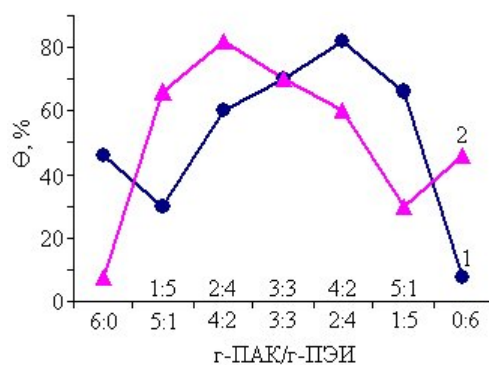
Рис. 2. Зависимость pH раствора от соотношения исходных компонентов

может быть объяснено с позиции установления донановского равновесия между поверхностью гелей и концентрацией функциональных групп сетки и металла.

Полимерные композиты на основе трехмерных структур полиакриловой кислоты и полиэтиленimina содержат amino- и карбоксильные группы, которые способны взаимодействовать с ионами переход-

ных металлов с образованием тройных полимер-металлических комплексов. Способность интергелевых композитов сорбировать ионы металлов дает возможность использовать их в качестве полимерных сорбентов для концентрирования и извлечения ионов тяжелых металлов из промышленных стоков и загрязненных почв. В связи с этим определена степень связывания гидрогелей ПАК, ПЭИ и их композиций с ионами кобальта (II), никеля (II) и меди (II).

На рисунке 3 показана зависимость степени связывания иона кобальта системой г-ПАК/г-ПЭИ от соотношения исходных компонентов. Установлено, что с увеличением в композиции количества геля полиэтиленimina кривые исследуемой зависимости имеют экстремальный характер.



1 – г-ПАК, 2 – г-ПЭИ

Рисунок 3 – Зависимость степени связывания иона кобальта гидрогелями ПАК, ПЭИ от соотношения исходных компонентов

Таблица 1

**Степень связывания гидрогелей полиакриловой кислоты и полиэтиленimina и их композиций с солями переходных металлов**

C <sub>ПАК</sub> /C <sub>ПЭИ</sub>	Степень связывания, %		
	CoSO <sub>4</sub>	Ni SO <sub>4</sub>	CuSO <sub>4</sub>
6:0	23	1	4
5:1	15	2	20
4:2	30	16	37
3:3	35	1	53
2:4	41	28	13
1:5	33	44	65
0:6	4	50	58

Подобные зависимости были получены также для ионов меди и никеля, полученные данные сведены в таблице 1. Из анализа данных таблицы 1 следует, что наибольшая степень связывания композиций гидрогелей с ионами кобальта наблюдается при соотношении ПАК:ПЭИ=2:4 (41%), меди – 1:5 (65%), никеля – 1:5 (50%), а наименьшая степень связывания наблюдается для соли никеля при соотношении ПАК:ПЭИ=3:3 (1%).

Как известно, процесс сорбции ионов металлов гидрогелями можно доказать методом УФ-спектроскопии, т.к. интенсивность поглощения любого соединения зависит от его концентрации. В связи с этим были записаны УФ-видимые спектры растворов сульфатов кобальта, никеля и меди после сорбции из растворов солей катионов металлов композициями ПАК/ПЭИ различного состава. Результаты проведенных УФ-спектроскопических исследова-

Таблица 2

**Интенсивность поглощения растворов сульфатов кобальта, никеля и меди  
в УФ-видимой области после сорбции катионов металлов композициями гидрогелей**

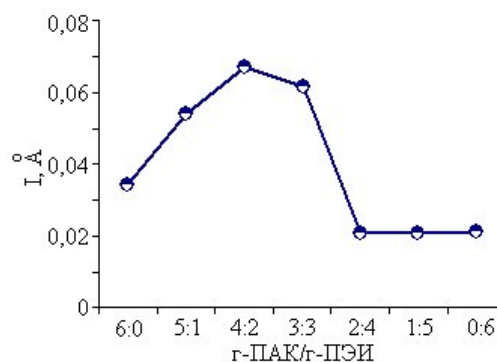
$C_{\text{ПАК}}/C_{\text{ПЭИ}}$	Интенсивность, E		
	$\text{CoSO}_4$	$\text{Ni SO}_4$	$\text{CuSO}_4$
6:0	0,0342	0,0399	0,0686
5:1	0,0538	0,0406	0,0401
4:2	0,0669	0,0476	0,0245
3:3	0,0616	0,0149	0,0726
2:4	0,0209	0,0048	0,0401
1:5	0,0208	0,0031	0,0396
0:6	0,0211	0,0086	0,0228

ний представлены в таблица 2. Измерение интенсивности полос поглощения растворов солей проводилось при длине волны  $\text{CoSO}_4$   $\lambda = 515\text{nm}$ ,  $\text{NiSO}_4$   $\lambda = 395\text{nm}$ ,  $\text{CuSO}_4$   $\lambda = 715\text{nm}$ , характерных для данных соединений.

Из анализа данных таблицы 2 видно, что наибольшая интенсивности полос поглощения растворов солей d-металлов наблюдается при соотношении ПАК:ПЭИ=4:2 (0,0669 E) для кобальта, никеля – 4:2(0,0476 E), меди – 3:3 (0,0726 E), а наименьшая интенсивности полос поглощения наблюдается для соли никеля при соотношении ПАК:ПЭИ=1:5 (0,0031 E).

На рисунке 4 показано изменение интенсивности поглощения иона кобальта от соотношения исходных компонентов в результате сорбции системой гидрогелей. Как видно из этого рисунка, наибольшая интенсивность наблюдается после сорбции катиона г-ПАК/г-ПЭИ=4:2, дальнейшее увеличение доли г-ПЭИ приводит к снижению интенсивности поглощения.

Таким образом, проведенными исследованиями показано, что коэффициент набухания полимерных



*Рис. 4. Изменение интенсивности поглощения иона кобальта от соотношения исходных компонентов*

гидрогелей ПАК и ПЭИ, с сорбированными ионами переходных металлов, степень связывания ионов переходных металлов изучаемыми композициями зависит от соотношения исходных гидрогелей.

### Список литературы

1. Кабанов В.А., Зезин А.Б., Рогачева В.Б., Литманович Е.А. Взаимодействие противоположно заряженных сетчатых и линейных полиэлектролитов // Докл. АН СССР. 1986. Т.288. №6. С. 1408–1411.
2. Ольдржих М., Милан Т. Акриловые полимеры. Москва – Ленинград: Химия. 1966. С. 150.
3. Ергожин Е.Е., Менлигазиев Е.Ж. Полифункциональные ионообменники. Алма-Ата: Наука. 1986. С. 304.
4. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. М.: Наука. 1963. С. 314.
5. Галаев И.Ю. «Умные» полимеры в биотехнологии и медицине // Успехи химии. 1995. Т.64. №5. С. 505–523.
6. Филиппова О.Е. «Восприимчивые» полимерные гели // Высокомолек. соед. 2000. Т.42. №12. С. 2328–2352.

## СПОСОБЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

**Мирюк О.А.,**

д.т.н., профессор, Рудненский индустриальный институт,  
Казахстан.  
psm58@mail.ru

**Аннотация.** Исследовано влияние способа приготовления на свойства магниевых композиций. Выявлено преимущество предварительной обработки техногенного компонента вяжущего раствором хлорида магния. Показана эффективность раздельного приготовления бетонной смеси. Это обеспечивает повышение прочности композиций.

**Ключевые слова:** магниевые композиции, способ приготовления, гидратация, твердение.

## METHODS OF PREPARING OF MAGNESIUM COMPOSITIONS

**O. Miryuk,**

Rudny Industrial Institute

**Abstract.** Influence of the method of preparation on properties of magnesium compositions is investigated. Advantage of preliminary processing of a technogenic component of the magnesium chloride knitting solution is revealed. Efficiency of separate preparation of concrete mix is shown. It provides increase of durability of compositions.

**Key words:** magnesium compositions, method of preparation, hidratation, hardening.

**М**агниевые вяжущие вещества отличаются интенсивным твердением, высокой прочностью, возможностью использования в составе техногенных материалов. Эффективны магниевые композиции, содержащие компоненты различного происхождения, состава и структуры [1, 2].

Многокомпонентный состав исследуемых материалов предполагает различные варианты совмещения составляющих при приготовлении формовочных масс, отличающиеся последовательностью контактов.

*Цель работы* – исследование влияния способа приготовления на свойства магниевой композиции на основе отходов обогащения железных руд.

Объект исследования – композиция из смешанного магниевых вяжущего и зернистых отходов обогащения руд. В составе смешанного магниевых вяжущего 30% каустического магнезита и 70% тонкомолотых отходов обогащения железных руд.

Влияние способа приготовления исследовано на различных уровнях: при формировании микроструктуры смешанного вяжущего и при образовании макроструктуры композиции, содержащей зернистые отходы обогащения руд.

На первом этапе исследованы три способа приготовления смешанного магниевых вяжущего:

I – затворение смеси компонентов (традиционная технология);

II – смешивание каустического магнезита с раствором хлорида магния и последующее добавление минерального компонента;

III – смешивание минерального компонента с раствором хлорида магния и последующее добавление каустического магнезита.

Влияние способа приготовления на свойства композиций подтверждают результаты испытаний вяжущего (табл. 1).

Повышение прочностных характеристик вяжущего достигается при предварительной обработке отходов обогащения руд затворителем, благоприятствующей гидролизу минералов.

Первичный контакт каустического магнезита с большим объемом затворителя способствует преобразованию части MgO и MgCl<sub>2</sub> в пентагидрооксихлорид магния. В результате ослабевает активизирующее воздействие магниевой составляющей на минеральный компонент. Доказательством этого могут служить данные о влиянии частичной обработки каустического

магнезита. Ограниченное количество каустического магнезита (15% общего расхода), введенное при приготовлении раствора соли, не ухудшая реологических свойств затворителя, обогатит его ионами магния.

Таблица 1

**Влияние способа приготовления на прочность вяжущего**

Способ	Предел прочности при сжатии,%, в возрасте, сут				
	1	3	7	14	28
I	75	82	92	95	100
II	73	85	91	93	98
III	87	92	97	103	110

Зернистый компонент – инертная составляющая бетонных смесей, однако роль первичного контакта этого ингредиента при приготовлении формовочных масс зачастую весьма существенна. Это обусловлено влиянием характера подготовки зернистых бетонных смесей на формирование и состояние контактного слоя между частицами заполнителя и камнем вяжущего. Структурные особенности контактного слоя определяют прочностные свойства композиционных материалов и влияют на долговечность изделий.

На втором этапе исследованы следующие способы приготовления магнезиальных композиций на основе зернистых заполнителей:

1 – совместное перемешивание всех компонентов смеси;

2 – первичный контакт заполнителя с затворителем в течение 2– 3 мин перемешивания и последующее введение смешанного вяжущего.

Сравнительная характеристика показателей свойств зернистых композиций, полученных разным способом свидетельствует о тенденции уплотнения и упрочнения композиции при обеспечении первичного контакта частиц отходов обогащения руд с раствором хлорида магния. Это подтверждают результаты исследований зернистых композиций методом электронной микроскопии, свидетельствующие о снижении дефектности контактных зон в микроструктуре композитов, об увеличении доли кристаллических гидратов в приграничной области.

Роль первичного контакта зернистого компонента с раствором хлорида магния определяется возможностью обработки поверхности частиц дробленого материала, и освободить ее от пылевидных фракций, препятствующих контакту с камнем вяжущего. При дроблении пород и отходов обогащения руд, наряду с искомой фракцией, образуется тонкодисперсные пылевидные частицы, содержание которых в бетонной смеси стараются ограничивать.

Для подтверждения этой гипотезы готовили бетонную смесь на техногенном заполнителе исходного состояния и на основе отходов обогащения руд, отмытых от пыли. Отмытке подвергались отдельные фракции отходов обогащения руд (табл. 2). Отделение пылевидных частиц от зерен заполнителя повышает прочность бетона (табл. 3).

Результаты исследований показывают, что с уменьшением размера зерен фракции возрастает доля пылевидных частиц. Это можно объяснить тем, что зерна меньшего размера обладают большей силой поверхностного притяжения, поэтому такие зерна наиболее густо покрыты пылевидными частицами. Для фракции «0,14 – 0,315» мм потери в массе составляют почти половину, это может быть связано с мелким размером зерен самой фракции: малые зерна фракции могли быть унесены водой вместе с пылью. Кроме того, во время классификации в этой фракции могло сосредоточиться большое количество пылевидных частиц. Характер влияния обработки заполнителя зависит от доли пылевидных частиц.

Таблица 2

**Влияние отмывки на состав отходов обогащения руд**

Фракция заполнителя, мм	Масса, г		Потеря заполнителя по массе, %
	исходная	отмытая	
0,14 – 0,315	1000	540	46,0
0,315 – 0,63		834	16,6
0,63 – 1,25		921	7,9
1,25 – 2,5		962	3,8
2,5 – 5,0		983	1,7

Таблица 3

**Влияние обработки заполнителя  
на прочность композиции**

Состояние заполнителя	Содержание фракций (мм),%					Доля раствора хлорида магния	Предел прочности, МПа, в возрасте, сут	
	0,14–0,315	0,315–0,63	0,63–1,25	1,25–2,5	2,5–5,0		3	28
Отмытый	–	–	–	–	100	0,33	13,5	37,3
Исходный	–	–	–	–	100	0,33	11,3	34,8
Отмытый	50	50	–	–	–	0,60	3,2	10,4
Исходный	50	50	–	–	–	0,64	1,5	6,7
Отмытый	–	–	50	50	–	0,40	7,6	21,5
Исходный	–	–	50	50	–	0,40	7,8	21,2

*Вывод.* Предварительная обработка техногенного компонента позволяет улучшить свойства магниевых композиций.

**Список литературы**

1. Лыткина Е. В. Ксилолитовые и костролитовые строительные материалы с использованием композиционного магниевых вяжущего, содержащего диабаз // Известия вузов. Строительство. – 2010. – №9. – С. 26 – 29.
2. Мирюк О.А. Твердение и поризация магниевых композиций // Наука и мир. – 2014. – № 2. – Том I. – С. 170 – 174.

## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СЕМЕНОВЕДЕНИЯ ГЕНОФОНДА ДЕРЕВЬЕВ И КУСТАРНИКОВ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ

**Семенютина А.В.,**

Д.С.-Х.Н.,

**Свинцов И.П.,**

Д.С.-Х.Н.,

**Хужахметова А.Ш.,**

К.С.-Х.Н.,

**Семенютина В.А.,**

аспирант,

Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации (Волгоград)

[vnialmi@yandex.ru](mailto:vnialmi@yandex.ru)

**Аннотация.** Дано научное обоснование семеноведения древесных видов в засушливых регионах. Приведены материалы по регламенту формирования генеративных органов на основе многолетнего опыта интродукции. Выявлены экологические основы цветения и плодоношения, семенной продуктивности и уровень адаптации по генеративному индексу. Определены пути активизации селекционных процессов при подборе адаптированного ассортимента хозяйственно ценных видов для защитного лесоразведения и озеленения в малолесных регионах.

**Ключевые слова:** семеноведение, генофонд, интродукция, биоразнообразие, малолесные регионы, дендрофлора, мобилизация биологического потенциала, адаптация

## SCIENTIFIC BASIC SEED GENE POOL TREES AND SHRUBS IN IN DRY CONDITIONS

**Semenyutina A.V.,**

**Svintsov I.P.,**

**Huzhahmetova A.Sh.,**

**Semenyutina V.A.**

All-Russian Scientific Research Institute of Agroforest Melioration

**Abstract.** Given the scientific substantiation of seed of woody species in arid regions. Materials on the rules of formation of generative organs on the basis of years of experience of introduction. Identify environmental foundations of flowering and fruiting, seed production and the level of adaptation generative index. Identified ways to enhance the selection process in the selection of an adapted range of commercially valuable species for protective afforestation and landscaping in the sparsely wooded areas.

**Keywords:** Seed, gene pool, introduction, biodiversity, sparsely regions dendroflora, the mobilization of the biological potential, adaptation

**В**ведение. Развитие семеноведения древесных интродуцентов в малолесных регионах является теоретической и практической основой семеноводства для создания устойчивых лесомелиоративных комплексов защитных насаждений (систем требующихся противоэрозионных, пастбище-мелиоративных, рекреационных и др. насаждений) в условиях деградированных ландшафтов.

В сухой степи и полупустыне, как правило, отсутствуют естественные леса, а, следовательно, и местные лесосеменные базы. Объектом для разработки основ семенного размножения являются генофонды

древесных интродуцентов, которые сосредоточены в дендрариях и производственных питомниках, коллекционных, семенных участках в агро- и урболесных экосистемах опытных хозяйств Всероссийского НИИ агролесомелиорации (Алтайский край, Волгоградская, Самарская области).

Научно-обоснованное семеноведение для защитного лесоразведения и озеленения населенных пунктов призвано содействовать формированию устойчивых к действию биотических и абиотических стрессов в условиях глобального и локального изменения климата лесомелиоративных комплек-



сов (систем всех требующихся противоэрозионных, пастбищемелиоративных, рекреационных и других защитных насаждений). Семенному размножению древесных видов отведено важное место в решении проблемы мобилизации биологического потенциала хозяйственно ценных растений в условиях засушливого климата. Приведенные многолетние экспериментальные материалы по семеноведению интродуцентов, полученные на объектах ВНИАЛМИ и его опытной сети, позволяют более успешно управлять генеративным развитием растений, активизировать

селекционные процессы и подбор адаптированного ассортимента хозяйственно ценных видов.

**Объекты, фактический материал и методические аспекты.** Малолесные регионы занимают огромные площади и характеризуются большим разнообразием лесорастительных условий – темно-каштановые, каштановые, светло-каштановые [1]. На большой территории, охваченной исследованиями, климатические условия далеко не равноценны, в Поволжье они ухудшаются с северо-запада на юго-восток, в Кулундинской степи с юга на север (таблица 1).

Таблица 1

**Почвенно-климатическая и гидрологическая характеристика района исследований**

Дендрологические коллекции	Год посадки	Среднеголетние показатели					Тип почв	% гумуса	Глубина грунтовых вод, м
		Температура воздуха, °С	Максимальная, °С	Минимальная, °С	Относительная влажность воздуха, %	Осадки, мм			
ВНИАЛМИ (г. Волгоград)	1962	7,6	43	- 35	41	350	Светло-каштановые среднесуглинистые	0,8-1,2	4-5
КНижневолжская станция по селекции древесных пород (г. Камышин, Волгоградская обл.)	1931	5,4	41	-39	40	386	Темно-каштановые Супесчаные	1,5-2,5	>10
Поволжская АГЛОС (Самарская обл.)	1950	3,7	40	-45	46	395	Обыкновенные среднесуглинистые черноземы	5-6	8-15
Западно-Сибирская АГЛОС (Кулундинский район, Алтайский край)	1977	1,9	41	-50	50	270	Каштановые легко-суглинистые	1,4-2,5	5-6

Климат малолесных регионов России отличается: небольшим количеством годовых атмосферных осадков; низкой относительной влажностью воздуха; сильными ветрами; высокими летними и низкими зимними температурами воздуха; частыми оттепелями зимой, короткой весной; ливневым характером

дождей; малым снеговым покровом; высокой испаряемостью.

Семеноведение в малолесных регионах характеризуется спецификой объектов и задач исследования. Объектом для разработки основ семенного размножения являлись генетические ресурсы древесных

интродуцентов Всероссийского НИИ агролесомелиорации (Алтайский край, Волгоградская, Самарская области). Перед семеноведением интродуцентов стоят следующие задачи: выявление влияния лимитирующих факторов среды на развитие плодов и семян; селекционное улучшение качественных и количественных параметров семеношения с учетом адаптивных возможностей и хозяйственной пригодности выращиваемых растений.

Факторы среды влияют на плодоношение и семеношение древесных интродуцентов и препятствуют проведению мероприятий по созданию экологически устойчивых защитных лесных насаждений в засушливых регионах. В связи с выше изложенным, требуется тщательное изучение параметров экологической пластичности древесных видов, установление биоэкологического потенциала семеношения и определение генеративной способности деревьев и кустарников в засушливых условиях с целью разработки эффективных мероприятий по их использованию в защитном лесоразведении и озеленении населенных пунктов.

Семеноведение с целью мобилизации адаптированного биологического потенциала хозяйственно ценных видов для защитного лесоразведения и озеленения агро- и урболандшафтов засушливой зоны

решается в комплексе биоэкологических, природоохранных и технологических задач, направленных на сохранение, восстановление, непрерывное использование компонентов разнообразия дендрофлоры, повышение ресурсного потенциала и формирование оптимальных условий для проживания населения.

**Результаты и обсуждение.** Установлено, что генфонд хозяйственно ценных древесных интродуцентов по решению теоретических и практических вопросов семеноведения в малолесных регионах включает 660 таксонов древесных растений разного возраста и географического происхождения (рисунок 1).

Родовые комплексы семейства *Rosaceae* один из важных элементов для рационализации природопользования малолесных регионов и многофункциональному использованию древесных растений. Их виды являются хорошими медоносными (*Cotoneaster*, *Rosa*, *Spiraea*) и лекарственными растениями (*Crataegus*, *Aronia*, *Sorbus* и др.), могут применяться в полезном лесоразведении и других защитных лесных насаждениях (*Amelanchier*, *Amygdalus*, *Crataegus*, *Rosa* и др.). Они способствуют повышению экологической емкости гнездования птиц, улучшению условий для роста древесных видов и концентрации полезной биоты, стабильно цветут и плодоносят в различных географических пунктах Поволжья.

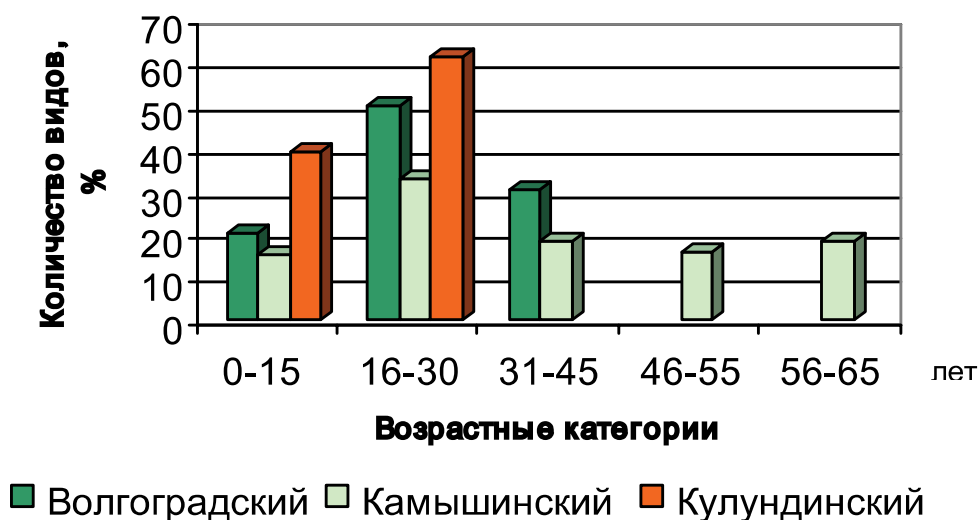


Рисунок 1 – Возрастные категории интродукционных ресурсов

Возобновление самосевом создает опасность появления адвентивных видов, способных нарушать природную среду. Для преодоления принципиальных разногласий на эту проблему следует: дифференцировать обогащение дендрофлоры с учетом лимитирующих факторов роста и развития растений и эколого-экономического эффекта; в различных экологических условиях осуществлять специальные эксперименты на модельных объектах; обобщать и глубоко анализировать всю поступающую информацию.

При выборе того или иного вида необходимо определять адаптационные возможности и перспективность растений по следующим признакам: засухо-, соле-, морозоустойчивости; репродуктивной способности в культуре; всхожести семян; продуктивности, кормовой ценности и питательности фитомассы и другим хозяйственно ценным свойствам.

Анализ интродукции древесных растений показал, что для лесомелиоративных комплексов на крайнем юго-востоке России сбор исходного материала следует проводить в Ирано-Туранской и Циркумбореальной областях Голарктического флористического царства, где произрастают растения, обладающие толерантностью к ксеротермическим условиям (рисунок 2).

В аридных условиях древесные породы быстро развиваются и рано вступают в фазу плодоношения. В Нижнем Поволжье ювенильный период у них длится 3,0-3,5 года. В этом возрасте начинают цвести многие виды из родов: *Betula*, *Acer*, *Padus*. Даже медленно растущие породы, такие как *Tilia*, *Quercus* зацветают на 5-6 год. В полупустынных условиях у кустарников семейств *Chenopodiaceae*, *Fabaceae*, *Elaeagnaceae*, *Polygonaceae*, *Rosaceae* цветение и плодоношение наблюдались на втором году жизни.

В условиях сухой степи низкие и средние кустарники (*Amygdalus nana* и *A. ledebouriana*, *Securinea suffruticosa*, *Spiraea japonica*, *Lycium chinense*) начинают цвести уже в год посева семян. А большинство (45%) средних и высоких кустарников также начинают цвести и плодоносить на втором году жизни (*Rosa*, *Amelanchier*, *Aronia* и др.).

В засушливых условиях при формировании генеративных органов цветения наблюдаются аномалии. Они проявляются в замене одного пола другим, в несоответствии сроков цветения мужских и женских цветков, развитии семян без зародышей, недоразвитии цветков или их махровости, что связано с внешними воздействиями. Причины аномалий при формировании генеративных органов цветения: недостаточность и избыточность влияния экологи-

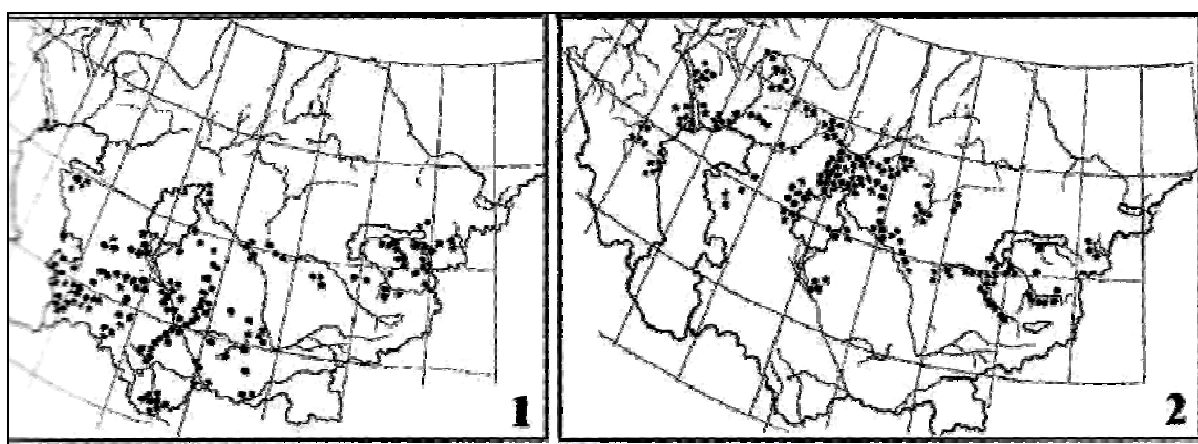


Рисунок 2 – Ареалы растений и точки сбора образцов (\*) для интродукции  
1 – *Calligonum caput-medusae* Schrenk, 2 – *Calligonum aphyllum* (Pall.) Guerke

ческого фактора (суммы тепла и света, влаги); особенности формирования генеративных почек – на побегах прошлого года, на укороченных побегах или на удлиненных ростовых однолетних побегах; особенности и сроки закладки почек, изменения при их формировании.

В группу древесных видов, не плодоносящих или плодоносящих в условиях сухой степи только в благоприятные годы, входят орехоплодные культуры (*Corylus*, *Juglans*) [3, 4]. Подбор опылителей (*Corylus avellana*) для орехоплодных кустарников способствует повышению их плодовой продуктивности. Учет различных этапов микро- и макроспорогенеза в определенных условиях температуры, влажности, света позволяет выявить нарушения в развитии растений. А также определить факторы, которые способствуют формированию семян высокого качества, и наоборот, угнетающие в той или иной степени рост и развитие растений, что ухудшает качество плодов и семян (рисунок 3).

Формирование генеративных почек у большинства древесных растений проходит в летне-осенний период, предшествующий году цветения, т.е. задол-

го до наступления цветения. По времени заложения соцветий и цветков в почках древесные интродуценты подразделяются на 4 группы:

- Соцветия и цветки закладываются во время вегетационного периода, предшествующего году цветения.
- Соцветия и цветки закладываются в год цветения.
- Образование соцветий или цветков происходит как во второй половине вегетационного периода, так и вначале вегетации в год цветения.
- Мужские цветки закладываются летом предшествующего года, а женские цветки и соцветия могут закладываться или также в конце вегетации или в начале вегетации в год цветения (сережкоцветные, рисунок 4).

Более чувствительны к низким температурам развитые цветки. Для закрытых цветков (бутонов) критическая температура лежит между  $-2,1^{\circ}\text{C}$  и  $-5,5^{\circ}\text{C}$ . Открытые цветки повреждаются уже при температуре от  $-1,0^{\circ}\text{C}$  до  $-3,0^{\circ}\text{C}$ . В период завязывания плодов снижение температуры до  $-2,0^{\circ}\text{C}$  оказывает губительное влияние. Наибольшей чувствительнос-



Рисунок 3 – Влияние засушливого периода на характер плодоношения фундука



Рисунок 4 – Цветение пестичных и тычиночных цветков (в коллекциях ФГУП «Волгоградское», фундук, сорт Черкесский)

тью к морозу обладает гинецей (завязь с пестиком и рыльцем).

Пониженная температура и умеренная влажность благоприятны для цветения, в то время как высокие температура и влажность воздуха задерживают цветение некоторых растений, и действие неблагоприятных факторов среды на цветение во многом зависит от фенологии генеративных органов. Понижение температуры в период цветения приводит к частичной или полной гибели пыльцы и снижению урожая плодов и семян у древесных интродуцентов (*Juglans*, *Armeniaca* и др.). Опасность повреждения цветков морозом заметно уменьшается по мере увеличения расстояния между кроной и почвой. Штамбовая формировка древесных растений способствует лучшему перенесению заморозков, чем кустовая (*Corylus pontica*).

Для выявления влияния лимитирующих факторов на скорость прохождения этапов цветения и плодоношения в различных пунктах интродукции определяют ритм и интенсивность цветения и завязь-

зываемость семян в зависимости от условий, температуры, длины дня, осадков, солнечного освещения. Для одних и тех же видов в различных географических пунктах лимитирующие внешние факторы достигают критического уровня в различные периоды онтогенеза растений.

Цветение большинства видов в условиях сухой степи приурочено к весеннему периоду, когда температура не превышает 15,7-16,1°С. Кривая цветения видов имеет основной максимум во II декаде мая.

Характер цветения и плодоношения древесных видов изменяется в зависимости от количества тепла и влаги. Ксерофитные виды для нормального развития генеративных органов требуют больше тепла и меньше влаги [1].

Многолетний опыт интродукции показал, что у деревьев и кустарников в сухой степи увеличивается энергия цветения и плодоношения.

Объясняется это следующими причинами:

- При длительном вегетационном периоде, наличии значительной суммы тепла и света у неко-



**а**



**б**



**в**



**г**

*Рисунок 5 – Кустарники в период массового цветения (возраст 4 года, светло-каштановые почвы; а – аморфа кустарниковая, б – урга обильноцветущая; в – спирея средняя; г – тамарикс «Майский снег»)*

торых видов побеги за один год проходят двух-летний цикл развития. При формировании генеративных почек на побегах прошлого года цветы и плоды образуются не только на укороченных побегах – плодушках, но и на удлинённых ростовых однолетних побегах. Последние часто представляют силлептический побег с ветвлением второго порядка (рисунок 5).

- Значительные изменения происходят и при формировании почек. У растений, соцветия и цветки которых закладываются в вегетационный период, предшествующий году цветения, из одной почки появляется 1-4 цветка или 2 цветка и ростовой побег, два ростовых побега и цветок.

- При формировании генеративных органов на побегах текущего года также наблюдается обильное почкообразование. Почки на них сближены и при распускании образуют большое количество цветов и соцветий.

Элементы семенной продуктивности древесных интродуцентов обосновываются экологическими параметрами и возможностью эффективного местного семеноводства с позиций засушливости региона по агроклиматическим характеристикам: сумме температур (активных) выше +10, +15°C, световому режиму, обеспеченности влагой в период цветения и созревания семян. Выявлено, что возможности дальнейшего семенного размножения интродуцентов зависит от качества семян.

Семенная продуктивность видов оценивается по следующим характеристикам:

- Фенологическое состояние – сроки и продолжительность цветения и созревания семян (феноспектры).
- Репродуктивные процессы на растениях в связи с их архитектурой - сроки и темпы цветения и формирования семян на разных порядках и ярусах.
- Семенная продуктивность, выраженная массой семян с одного растения и с единицы площади (при нормальной густоте стояния).
- Структура урожая, отражающая роль побегов разных порядков в его образовании.
- Качество семян: посевные качества – масса 1000 штук, энергия прорастания и всхожесть (по ГОСТу 13056.6-97).

Установлено, что большая вероятность отрицательного воздействия на семенную продуктивность растений лимитирующих внешних факторов для древесных растений, у которых соцветия и цветки закладываются во время вегетационного периода, предшествующего году цветения, от формирования генеративных органов до цветения и созревания плодов проходит самый

продолжительный период времени. У представителей этой группы (*Larix dahurica*, *Betula papyrifera*, *Forsythia ovata* и др.) наиболее часто отмечается снижение или отсутствие урожая плодов и семян в неблагоприятные по метеорологическим условиям годы.

Деревья и кустарники, образующие генеративные органы в год цветения, естественно, значительно меньше подвержены влиянию неблагоприятных факторов внешней среды и дают более стабильные урожаи плодов (*Rosa glauca*, *R. rugosa*, *Spiraea bumalda*, *Symphoricarpos albus* и др.).

В качестве обобщающего показателя семенной продуктивности при сравнении данных по географическим пунктам используется генеративный индекс. Этот показатель включает как количественную сторону семеношения и размножения, так и качественную характеристику семян различных видов и форм. Выделены 159 (40%) древесных видов из коллекций ВНИАЛМИ с генеративным индексом 0,65-0,79 и широким экологическим ареалом произрастания (полиморфные родовые комплексы семейств *Rosaceae*, *Oleaceae*, *Fabaceae*, *Caprifoliaceae*). Они перспективны для лесомелиорации агро- и урболандшафтов засушливой зоны (рисунок 6).

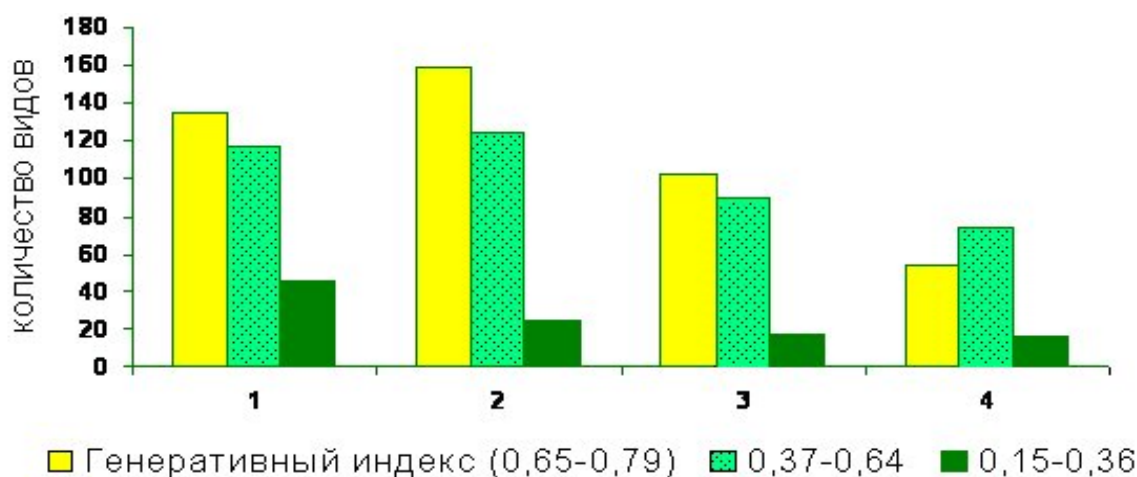


Рисунок 6 – Оценка интродукционных популяций по генеративному индексу (1-Волгоградский, 2-Камышинский, 3-Поволжский, 4 – Кулундинский коллекционные фонды)

Определено, что снижение семенной продуктивности у одних и тех же видов в различных географических условиях может происходить:

- из-за вымерзания репродуктивных почек, бутонов и цветов;
- массового опадения цветков и завязей под влиянием дождей в период цветения;
- массового опадения завязей под влиянием засухи в период формирования завязавшихся плодов;
- отсутствие устойчивого плодоношения у видов с позднеспелыми плодами из-за осенних заморозков;
- отсутствие устойчивого плодоношения у видов с присущим им периодичностью цветения, зависящее от погодных условиях.

Для определения семенной продуктивности с оценкой их качества и выделения форм для дальнейшей селекции выявили экологическую неоднородность семян по сравнительной оценке параметров плодоношения у одних и тех же видов в разных географических пунктах.

Натуральную и топографическую неоднородность семян в пределах особи (на организменном уровне) фиксировали на уровне интродукционных

популяций по изменчивости плодов и семян с учетом местоположения генеративных органов на растении (по ярусам) и метеорологических условий в период вегетации. При сопоставлении изменчивости морфологических признаков в качестве меры изменчивости применяли коэффициент вариации, оценка которого проводится по эмпирической шкале уровней изменчивости (рисунок 7).

Выделены толерантные к экологическим условиям среды интродукционные популяции (*Acer – negundo, tataricum, ginnala, semenovii, Robinia pseudoacacia, Fraxinus lanceolata; Ulmus - laevis, parvifolia*, кустарники родовых комплексов *Lonicera, Crataegus, Cotoneaster, Amelanchier, Padus, Spiraea, Rosa, Cerasus, Cornus* и др.) с ежегодным обильным цветением, плодоношением и семенами хорошего качества, дающие устойчивое потомство (рисунок 8).

Для улучшения биоресурсов деградирующих ландшафтов малолесных регионов рекомендованы кустарники (*Rosa, Amelanchier, Crataegus, Chaenomeles*). У них наряду с высоким уровнем адаптации к засушливым условиям по коллоидно-осмотическим свойствам протоплазмы (1,54-1,78) отмечено интенсивное плодоношение, высокие показатели

- очень низкий –  $c.v. \leq 7\%$ ,
- низкий –  $c.v. = 8 - 12\%$ ,
- средний –  $c.v. = 13 - 20\%$ ,
- высокий –  $c.v. = 21 - 40\%$
- очень высокий –  $c.v. > 40\%$ .

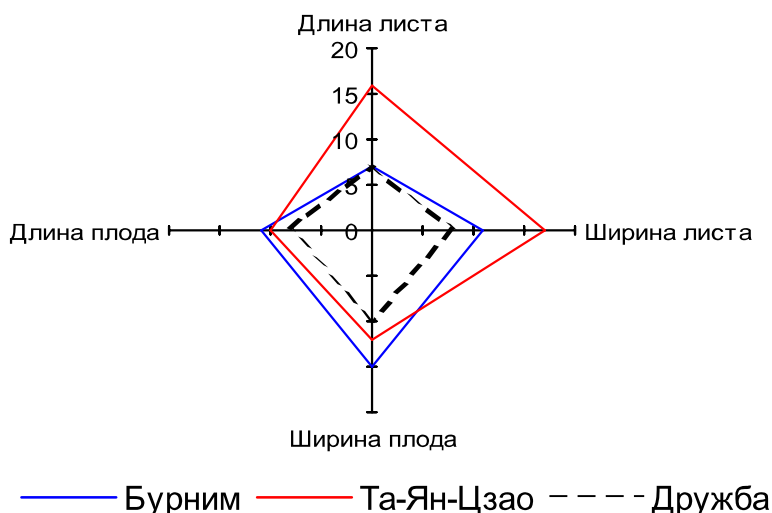


Рисунок 7 – Изменчивость плодов и листьев унаби, %





Рисунок 8 – Плодоношение *Rosa*, *Juniperus*, *Zizyphus*, *Gleditsia*  
(светло-каштановые почвы, ФГУП «Волгоградское»)

завязываемости плодов (77-90%), развитие крупных плодов и семян, хорошая доброкачественность семян (таблица 2)

Научное обоснование семеноведения древесных интродуцентов в малолесных регионах и полученные экспериментальные данные используют для подбора и мобилизации хозяйственно ценных видов с целью разработки программы мероприятий по формированию фонда посадочного материала адаптированных видов, форм и сортов для создания устойчивых лесомелиоративных комплексов (рисунок 9).

Выявление перспективных видов для мобилизации биологического потенциала хозяйственно ценных растений с целью формирования семян высокого качества проводится по кластерному анализу [5]. На основании расчёта Евклидовых расстояний определяется сходство климатических характеристик. Чем больше сходство климата (по гидротермическому коэффициенту, сумме осадков и эффективных температур за вегетационный период, амплитуде температур, среднегодовой температуре воздуха и др.), тем успешнее происходит адаптация растений и стабильнее ритмы развития.

Таблица 2

**Показатели плодоношения видов рода *Amelanchier* Medik  
(в возрасте 15-20 лет)**

Виды ирги	Масса плодов на 1 растении, г	Масса 1000 шт. плодов, г	Выход семян из плодов, %	Масса 1000 шт. семян, г	Доброкачественность, %
канадская	1530	510	4	6,9	99
колосистая	2700	475	4	7,9	100
малоплодная	995	300	1	3,4	75
обильноцветущая	2450	415	2	6,7	85
ольхолистная	1800	650	3	9,2	99
овальная	2550	415	4	7,0	91



Хеномелес «Волгоградский 1»



шиповник коричный крупноплодный

Рисунок 9 – Материал для семенного размножения кустарников

Роль семенного размножения в процессе акклиматизации выявляется по определению этапа акклиматизации, на котором находится особь или группа особей или популяции древесных интродуцентов. Этапы акклиматизации характеризуют степень развития растений и получение семенной репродукции, обеспечивающей смену поколений (таблица 3).

Для размножения хозяйственно ценных, цветущих, но плохо завязывающих семена, или дающих невсхожие семена (растения бореальной зоны – *Quercus robur*, *Larix sibirica*, *Pseudotsuga menziesii*, *Betula pendula*, *populifera*, *pubescens* и др.) рекомен-

дуется создание специальных лесосеменных объектов [6]. Нестратифицированные семена представителей родовых комплексов плоды, которых созревают в июле- августе при осеннем посеве дают всходы на следующую весну. Посев семенами, полученными из незрелых плодов, повышает грунтовую всхожесть до 20%.

Жизнеспособность (доброкачественность) семян репродукции определяется методами проращивания, взрезывания и рентгенографии. Семена репродукций коллекционных фондов ВНИАЛМИ были изучены у более 150 видов. Из них 70% видов семена имели вы-

Таблица 3

## Перспективность интродуцентов по результатам акклиматизации

Виды	Оценка акклиматизации, баллы	Перспективность
<i>Kochia prostrata</i>	65-70	Растения отличаются устойчивым потомством и в составе местной флоры могут возобновляться естественно. Требуется селекция на качество корма, продуктивность и другие показатели
<i>Ceratoides ewersmanniana</i>	62-67	
<i>Ceratoides papposa</i>	64-69	
<i>Artemisia tschernieviana</i>	59-65	
<i>Artemisia kelleri</i>	57-62	
<i>Camphorosma lessingii</i>	54-63	
<i>Camphorosma monspeliaca</i>	50-60	
<i>Aellenia subaphylla</i>	38-47	Растения вступают в генеративную фазу, но семенная репродукция может быть получена в благоприятные годы или при искусственном стимулировании. Требуется селекционная доработка на устойчивость к неблагоприятным факторам среды
<i>Salsola orientalis</i>	45-55	
<i>Salsola richteri</i>	30-40	
<i>Salsola paletzkiana</i>	9	Растения не перспективны, семенная репродукция отсутствует

сокую жизнеспособность (70-100%); 17% - среднюю (25-69%) и 13% - низкую (до 25%). Высокий процент прорастания получен у кустарников.

Семена высоких качеств в Нижнем Поволжье продуцируют представители семейства *Rosaceae*: *Armeniaca* (99-100%), *Amygdalus* (90-100), *Aronia* (88-95), *Chaenomeles* (95-99), *Cerasus* (93-99), *Cydonia* (80-95), *Padus* (89-96), *Physocarpus* (95-100), *Pyrus* (89-99), *Prunus* (86-97), *Spiraea* (85-93). Разнообразием качества семян характеризуются следующие виды родов этого семейства: *Amelanchier* (60-90), *Crataegus* (48-91), *Sorbus* (59-88), *Malus* (68-90). Низкие показатели качества семян (31-50%) отмечены у *Aflantia ulmifolia*.

Из семян лиственных видов качественные семена продуцируют представители семейств *Elaeagnaceae* (*E. angustifolia*, *Shepherdia argentea*); *Juglandaceae* (*J. nigra*, *J. ailanthifolia*); *Celastraceae* (*Euonymus maackii*); *Anacardiaceae* (*Cotinus coggygria*); *Fabaceae*.

Из хвойных видов высокие (75-95%) показатели качества семян *Platycladus orientalis*, *Thuja occidentalis*. Низкие (25-48%) показатели качества семян у *Juniperus communis* и *J. virginiana*.

Большим разнообразием жизнеспособности семян (32-85%) характеризуются семейства: *Aceraceae*,

*Oleaceae*, *Tiliaceae*, *Berberidaceae*, *Caprifoliaceae*, *Fagaceae*. Низкие показатели качества семян (6-28%) отмечены у видов рода *Betula*. Семена представителей 4 родов (*Berberis*, *Quercus*, *Malus*, *Robinia*) из исследуемых 43 до 35% повреждены вредителями. Желуди дуба черешчатого повреждаются желудевым долгоносиком. Поврежденные желуди осыпаются раньше, бывают недоразвитыми, теряют способность к прорастанию. Семенами робиний питаются акациевая огневка. Плоды яблони повреждаются яблоневой плодовой жоркой.

Семенам древесных видов свойственно состояние органического покоя. Из методов, применявшихся с целью ускорения прорастания семян в засушливых условиях, наиболее эффективен метод посева незрелыми семенами. Посев незрелых семян рекомендуется производить не позже первой декады сентября.

Основным фактором, выводящим твердые семена представителей ряда семейств цезальпиниевые, липовых и др. из состояния физического покоя являются температурные воздействия (как низкие, так и высокие и переменные). Твердые семена перед посевом подвергаются физическим или химическим обработкам (скарификации, замачиванию в концент-

рированной серной кислоте, ошпаривании кипятком и т.д.).

При привлечении семян для лесомелиоративных насаждений в засушливых условиях уделяется большое внимание исходному материалу, от которого зависит конечный результат акклиматизации и адаптации растений в регионе.

**Заключение.** В статье рассмотрены научные основы семеноведения в засушливых регионах для реализации проблем семенного размножения древесных интродуцентов при формировании устойчивых лесомелиоративных насаждений. Они решаются в комплексе биоэкологических, природоохранных и технологических задач, направленных на сохранение, восстановление, непрерывное использование компонентов разнообразия дендрофлоры, повышение

ресурсного потенциала и формирование оптимальных условий для проживания населения в условиях деградированных ландшафтов.

Приведен анализ многолетних экспериментальных материалов по семеноведению интродуцентов, полученных на объектах ВНИАЛМИ и его опытной сети. Они содержат качественные и количественные параметры цветения и плодоношения, отношение к экологическим факторам среды. Показаны преимущества применения для формирования долговечных защитных и озеленительных насаждений биоразнообразия адаптированных деревьев и кустарников, что способствует обеспечению экологической, социальной и экономической стабильности агро- и урболандшафтов малолесных регионов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ и Правительства Волгоградской области (проект № 14-16-34011)*

### Список литературы

1. Семенютина А. В. Комплексная оценка интродукционных ресурсов для оптимизации аридных экосистем / А.В. Семенютина, И.П. Свинцов, С.С. Таран // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки» – №11-12. – 2013. – С. 44-54.
2. Semenytina V.A. Ecological plasticity of *Zizyphus jujuba* in the Lower Volga // Биоразнообразие. Экология. Адаптация. Эволюция: VI Междунар. конф. мол. ученых, Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова. – Одесса, 2013. – С. 156-157.
3. Хужахметова А.Ш. Оптимизация лесомелиоративных насаждений засушливого региона видами родовых комплексов *Corylus* и *Juglans* / А.Ш. Хужахметова, С.С. Таран // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2013. – № 3 (31). – С. 106-111.
4. Хужахметова А.Ш. Урожайность плодов различных сортов фундука в условиях интродукции / А.Ш. Хужахметова // Нетрадиционные, новые и забытые виды растений: научные и практические аспекты культивирования: Междунар. науч.-практ. конф., Национальный бот. сад им. Н.Н. Гришко. – Киев, 2013. – С. 348-350.
5. Подковыров И.Ю. Обоснование подбора видового состава и структуры рекреационно-озеленительных насаждений методом кластерного анализа / И.Ю. Подковыров, А.В. Семенютина, С.С. Таран // Перспективные направления исследований в изменяющихся климатических условиях: сборник докладов Международной науч.-практ. конф., ГНУ НИИСХ Юго-Востока Россельхозакадемии. – Саратов, 2014. – С. 508-512.
6. Семенютина А.В. Перспективность интродукции *Pseudotsuga Menziesii* для озеленения Нижнего Поволжья / А.В. Семенютина, Д.В. Сапронова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 1 (33). – С. 69-73.

## ЧИСЛО ЦИКЛОВ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРО-НЕЧЁТКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ СТОЛКНОВЕНИЯ СУДОВ

Седов В.А.,  
к.ф.-м.н., заведующий кафедрой,  
Седова Н.А.,  
к.т.н., научный сотрудник,  
Егоров А.А.,  
студент,  
Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского (г. Владивосток)  
nellyfish81@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлены результаты проведённого компьютерного моделирования для нахождения наименьшего числа циклов обучения нейро-нечётких сетей, предназначенных для определения степени опасности столкновения морских судов в зоне чрезмерного сближения.

**Ключевые слова:** нейро-нечёткая сеть, адаптивная система нейро-нечеткого вывода, обучающая выборка, среднеквадратическое отклонение, цикл обучения.

## THE EPOCHS OF NEURO-FUZZY NETWORKS TO DETERMINE THE DEGREE OF SHIPS COLLISION RISK

V. A. Sedov, N. A. Sedova, A. A. Egorov  
Maritime State University named after G.I. Nevelskoi (Vladivostok)

**Abstract.** The results for finding the smallest of learning epochs of neuro-fuzzy networks to determine the degree of ships collision risk in the zone of excessive approach are detailed in this paper.

**Keywords:** neuro-fuzzy network, adaptive neuro-fuzzy inference system, training sample, standard deviation, learning epoch.

**В** настоящее время для обеспечения безопасности судовождения разрабатываются автоматизированные системы, предназначенные, в частности, для оценки текущей навигационной ситуации и/или расчета степени опасности (риска, вероятности или области опасности) столкновения судна с объектами различной природы и/или другими судами [1]. Такие системы предупреждают принимающее решение лицо о возможных опасностях с целью их дальнейшего предотвращения [2]. Авторами предложена модель нейро-нечёткой сети (ННЧС) для определения степени опасности столкновения морских судов в зоне чрезмерного сближения, результаты компьютерного моделирования которой с целью определения наименьшего числа циклов обучения представлены в настоящей работе.

Указанная модель ННЧС состоит из четырёх входных переменных: переменная  $x^B$  соответствует информации о пеленге на судно-цель,  $x^{\text{COS}}$  – зна-

чение курса судна-оператора,  $x^{\text{CTS}}$  – значение курса судна-цели,  $x^{\text{RS}}$  – значение относительной скорости судна-оператора и судна-цели. Компьютерное моделирование ННЧС проводилось с использованием адаптивной системы нейро-нечеткого вывода (нейро-нечёткой сети) ANFIS (от Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), реализованной в среде Matlab [3-5]. Для обучения ННЧС сформирована обучающая выборка, состоящая из 525 обучающих пар, каждая из которых представляет собой совокупность {(входной вектор)<sup>T</sup>, (выходной вектор)<sup>T</sup>}, где T – символ транспонирования, при этом входной вектор представляет собой  $(x^B, x^{\text{COS}}, x^{\text{CTS}}, x^{\text{RS}})$ , а выходное значение  $y^{\text{DofC}}$  каждой обучающей пары соответствует эталонному значению, характеризующему степень опасности столкновения судов, рассчитанному с помощью маневренного планшета. Значения входного вектора обучающей выборки  $x^B, x^{\text{COS}}$  и  $x^{\text{CTS}}$  пробегает множество  $[0; 360]^\circ$ , а значение  $x^{\text{RS}}$  – множество  $[0; 2]$ , хотя,

без потери общности, правую границу можно увеличить. Выходное эталонное значение  $y^{DofC}$  каждой обучающей пары лежит в диапазоне от 0 до 1, причем, чем ближе к единице, тем выше степень опасности столкновения судна-оператора и судна-цели.

Для определения достаточности числа циклов обучения нейро-нечётких сетей для определения степени опасности столкновения морских судов, проведено компьютерное исследование, для чего обучены 192 различные нейро-нечёткие сети. На рисунках 1-4 приведены графики снижения среднеквадратического отклонения (СКО) обучения нейро-нечётких сетей с восемью различными типами функций принадлежности, использующихся для формирования входных переменных. Следует отметить, что на рисунке 1 представлены значения СКО при методе «constant» [3] для формирования выходной переменной, соответствующей степени опасности столкновения, а нейро-нечёткие сети обучались по методу обратного

распространения ошибки, на рисунке 2 показаны результаты обучения при методе «constant», но обучение приводилось гибридным методом, на рисунках 3 и 4 использовался метод «linear» [3] для формирования выходной переменной, но нейро-нечёткие сети, результаты обучения которых представлено на рисунке 3, обучались по методу обратного распространения ошибки, а на рисунке 4 – гибридным методом. На рисунках 1-4 через dsigmf обозначена функция принадлежности в виде разности между двумя сигмоидными функциями, через gauss2mf – двухсторонняя гауссовская функция принадлежности, gaussmf – гауссовская функция принадлежности, gbellmf – обобщенная колокообразная функция принадлежности, pimf – П-образная функция принадлежности, psigmf – произведение двух сигмоидных функций принадлежности, trapmf – трапециевидная функция принадлежности, trimf – треугольная функция принадлежности [3].

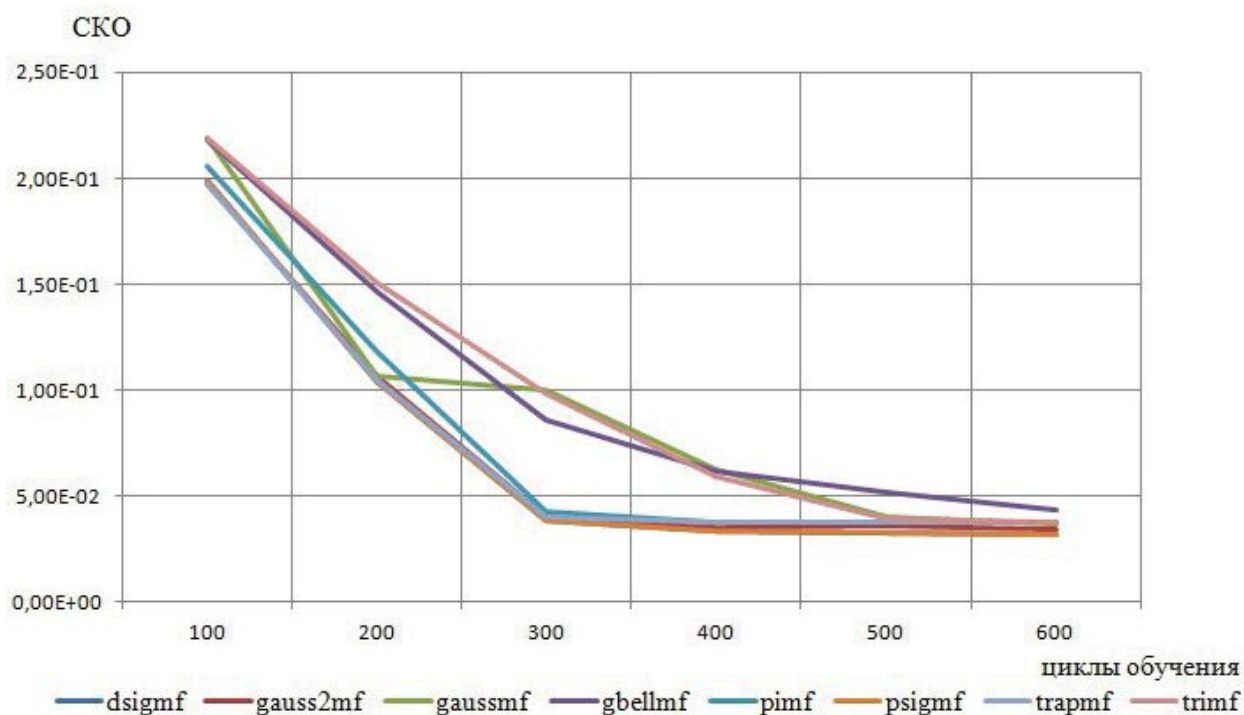


Рис. 1. Изменение СКО в процессе обучения нейро-нечётких сетей при методе «constant» и алгоритме обратного распространения ошибки

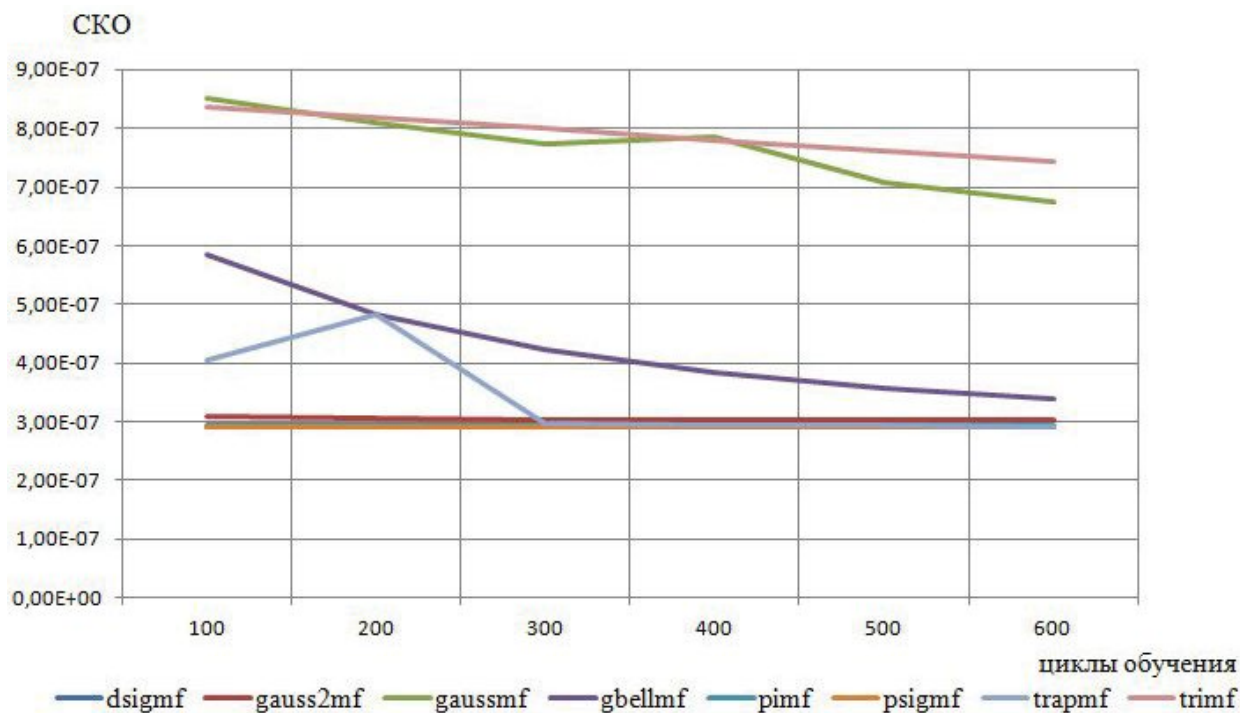


Рис. 2. Изменение SKO в процессе гибридного обучения нейро-нечётких сетей при методе «constant»

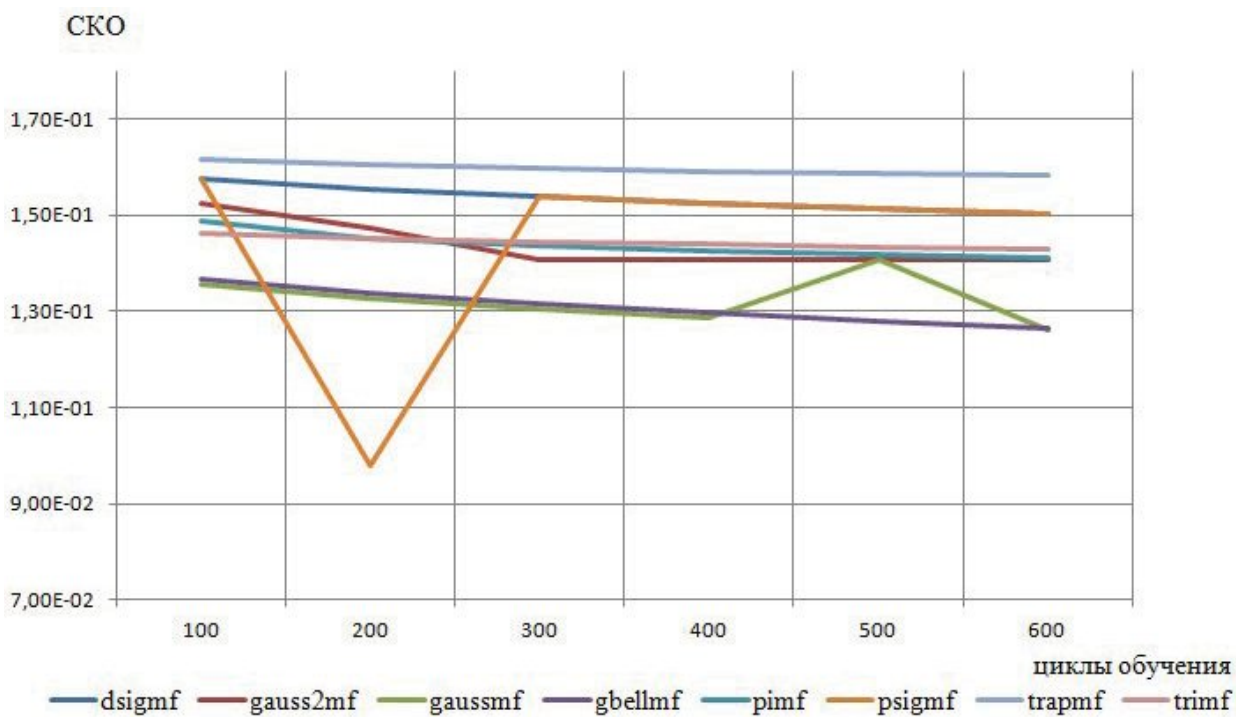


Рис. 3. Изменение SKO в процессе обучения нейро-нечётких сетей при методе «linear» и алгоритме обратного распространения ошибки

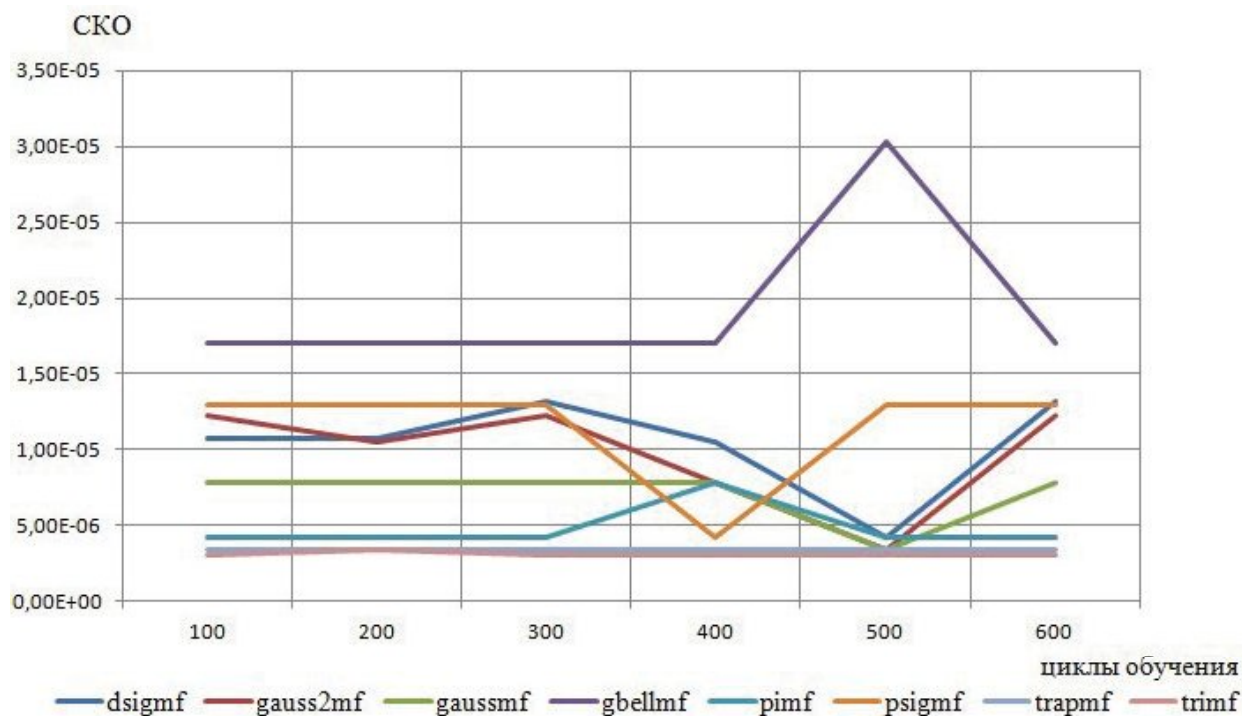


Рис. 4. Изменение СКО в процессе гибридного обучения нейро-нечётких сетей при методе «linear»

Число циклов обучения изменялось дискретно от 100 до 600 с шагом 100. При этом наилучшие результаты показывает метод гибридного обучения, при этом для всех функций принадлежности, формирующих входные переменные нейро-нечетких сетей, увеличение числа

циклов обучения больше 100 не дает заметного снижения СКО, что может говорить о достаточности такого числа циклов для качественного обучения нейро-нечётких сетей для определения степени опасности столкновения морских судов в зоне чрезмерного сближения.

### Список литературы

1. Седова Н.А., Сясин Д.Ю. Логико-лингвистическая модель определения степени опасности столкновения судов в зоне чрезмерного сближения // Бюллетень транспортной информации. – 2014. – №. 12 (234), с. 23-26.
2. Емельянов М.Д. Применение условных рисков для оценки безопасности морских судов // Транспорт Российской Федерации, №3-4 (22-23), 2009. – 40-45.
3. Штовба С.Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB. – М.: горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
4. Чёрный С.Г., Жиленков А.А. Интеллектуальная поддержка принятия решений при оптимальном управлении для судовых электроэнергетических систем // Вестник государственного морского университета им. адмирала А.Ф. Ушакова, № 2 (7), 2014. – 29-33 с.
5. Жиленков А.А., Чёрный С.Г. Применение нейро-нечёткого моделирования для задач идентификации многокритериальности в транспортной отрасли // Вестник СамГУПС, № 1 (23), 2014. – 100-106 с.



## ГИДРОБИОНТЫ ВОЛГИ КАК ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ВЛИЯНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА КАЧЕСТВО ВОДЫ

**Куриленко В.В.,**

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор кафедры экологической геологии,  
Санкт-Петербургский государственный университет,  
v.kurilenko@spbu.ru

**Изосимова О.С.,**

кандидат биологических наук,  
доцент кафедры экологической геологии,  
Санкт-Петербургский государственный университет,  
ksu40173@yandex.ru

**Аннотация.** Гидробиологический мониторинг Волги позволяет определять ее экологическое состояние, оценивать качество ее воды как среды обитания гидробионтов, определять совокупный эффект комбинированного воздействия загрязняющих веществ, определять трофические свойства воды, устанавливать факты возникновения вторичного загрязнения воды.

**Ключевые слова:** гидробионты, нефтепродукты, токсичное воздействие.

## HYDROBIONTS OF VOLGA AS INTEGRATED INDICATOR OF INFLUENCE OF OIL PRODUCTS ON QUALITY OF WATER

**Kurylenko V.V.,**

Doctor of geological and mineralogical Sciences,  
Professor of Environmental Geology, St. Petersburg State University

**Izosimova O.S.,**

Ph.D., Associate Professor of Environmental Geology, St. Petersburg State University

**Abstract.** The hydrobiological monitoring of the river Volga allows to determine its ecological condition, to fix quality of its water like hidrobionts' habitat, to determine the joints effect of combined influence of pollution substauces, to define trophic properties of water, to fix the facts of origin of secondary pollution of water.

**Key words:** hydrobionts, mineral oil, toxic influence (impact).

Одной из важных проблем, которые ставит перед обществом научно-технический прогресс, является проблема чистой воды, запасы которой постоянно снижаются вследствие загрязнения и эвтрофирования водоемов.

Экосистема дельты Волги испытывает усиленную разнофакторную антропогенную нагрузку и является сложным объектом мониторинга ввиду исключительной многокомпонентности и широкого концентрационного диапазона поллютантов антропогенного происхождения, мигрирующих из одной подсистемы в другую, аккумулируясь и вызывая вторичное загрязнение.

Среди критериев, позволяющих оценить степень и характер загрязнения водной среды, наиболее

представительным объективным является состояние водной экосистемы.

Интегральным показателем качества воды является структура фитопланктона. Использование фитопланктона принято при оценке трофического статуса для водохранилищ, дельт рек и большинства озер мира. Использование фитопланктона в индикации загрязнения вод основано на его чувствительности к изменению физико-химических свойств воды и быстрому отклику, благодаря краткому циклу развития. Структурные показатели фитопланктона, наряду с другими показателями, используются в оценке степени чистоты вод. Надежными показателями качества воды являются также перифитонные сообщества и макрофиты.

Самые распространенные из всех видов веществ, загрязняющих реку Волга и её дельту - нефть и нефтепродукты.

В систематическом отношении наименее чувствительными к токсикантам являются наименее организованные организмы – бактерии, водоросли и грибы. Наибольшей чувствительностью обладают рыбы (являясь высокоорганизованными водными животными с дифференцированной нервной системой, особенно чувствительной к ядам). Беспозвоночные животные на этой шкале занимают промежуточное положение. В экологическом отношении донные организмы более устойчивы, чем пелагические рыбы и беспозвоночные планктона, а в физиологическом отношении более устойчивыми оказались малоподвижные гидробионты.

В качестве дополнительного вывода следует указать на неодинаковую резистентность у особей одного вида, что даёт виду возможность повышать свою устойчивость к токсическому загрязнению за счет отбора наиболее резистентных особей.

Несмотря на обширность экспериментальных результатов по токсикологии нефтяного загрязнения, экстраполяция экспериментальных условий на при-

родные условия вызывает большие трудности, так как экспериментальные условия представляют собой, по существу, предельное упрощение состояния геобиоценозов, где неучтённые и неизвестные факторы могут резко усиливать или, наоборот, ослаблять действие токсиканта[1]

Между тем, специальных исследований по воздействию нефтяного загрязнения на природные биоценозы несравненно меньше, чем экспериментальных исследований. К тому же биоценозы почти всегда исследуются в двух главных биотопах водоёма - в планктоне и бентосе, тогда как заросли макрофитов, как специфический биотоп, исследованы по сравнению с ними крайне слабо.

В специально созданных для этого условиях было изучено влияние нефтепродуктов на фотосинтетические пигменты макрофитов (ФСП). Для того, чтобы получить определенную картину воздействия нефтепродуктов на ФСП макрофитов их предварительно обрабатывали смесью керосина и гудрона. При этом в качестве контроля использовали водоросли, которые ею не обрабатывали.

Содержание ФСП в водных растениях до и после обработки гудрона приведены в таблице[2].

Таблица 1

#### Изменение содержания ФСП в макрофитах после обработки гудрона (мг на 100 г сырой пробы)

Вид растительности	Содержание ФСП			
	Хлорофиллы (сумма)		β-каротин	
	Исходный образец	После обработки гудрона	Исходный образец	После обработки гудрона
Тростник обыкновенный	23,70	15,10	35,10	15,20
Сусак зонтичный	22,50	13,40	34,50	14,60
Рогоз широколистный	24,50	15,10	31,40	15,10
Роголистник погруженный	24,30	16,20	32,10	14,50
Стрелолист плавающий	25,10	14,50	32,50	15,50

В тоже самое время проводились опыты по влиянию светлых углеводов (на примере дизельного топлива) на содержание ФСП в макрофитах. Для этого в воду, содержащую различные водные растения вносили определенное количество дизельного топлива, встряхивали тотчас, а также через 24 часа и через 100 часов, измеряли спектры поглощения дизельного топлива. В результате исследования наблюдали экстракцию ФСП из макрофитов [2].

Для гидробиологического анализа качества вод могут быть использованы практически все группы организмов, населяющие водоемы: планктонные и бентосные беспозвоночные, простейшие, водоросли, макрофиты, бактерии и рыбы. При воздействии на гидробионтов различных загрязнителей водной среды прежде всего обнаруживаются изменения в видовом составе биоценозов. Эти изменения возникают даже при достаточно слабых концентрациях токсикантов, выявить которые с помощью химических методов не всегда возможно. Биологические методы контроля позволяют фиксировать даже разовые и несистематические загрязнения и их последствия и дают быструю и достаточно надежную информацию о биологической полноценности воды.

Одним из общепризнанных показателей качества воды и состояния водных экосистем является фитопланктон. Результаты исследования фитопланктона широко интерпретируются как для оценки трофического статуса водоемов и водотоков, так и для индикации загрязнения воды, что обусловлено высокой чувствительностью фитопланктонных сообществ к изменению физико-химических свойств воды и быстрому их отклику.

Важную роль в биоиндикации изменения состояния экосистемы в результате эвтрофирования вод-

ного объекта играют макрофиты, биомасса которых заметно увеличивается, а число видов сокращается в эвтрофных водоемах по сравнению с олиготрофными. Наиболее существенно значение макрофитов при рекогносцировочном гидробиологическом осмотре водных объектов, проводимом с целью экологически обоснованного размещения постоянных пунктов наблюдений и контроля экологического состояния водоемов и водотоков. Доминантная флора прибрежно-водной растительности выявляется очень легко и хорошо поддается учету. При этом подтипу водной растительности, представленной гидромезофитами, гидрофитными и гидротрофитными видами, отводится принципиальная роль в оценке загрязнения водной среды, тогда как подтипу прибрежной растительности, представленной гидрофитными, мезофитными, ксеромезофитными видами, определяющее значение придается при оценке загрязнения донных отложений малорастворимыми и малоподвижными токсическими веществами. При загрязнении водоемов изменяется видовой состав, биомасса и продукция макрофитов, возникают морфологические аномалии, происходит смена эдификаторов - доминантных видов, обуславливающих особенности контролируемого ценоза.

Изучение подземной биомассы и подземной структур фитоценоза прибрежно-водной растительности весьма показательно, но слишком трудоемко и потому не может найти широкого применения в гидробиологической службе контроля состояния пресноводных экосистем. При использовании макрофитов как биоиндикаторов экологического состояния водоемов и водотоков необходимо учитывать их большую устойчивость к кратковременным всплескам загрязнения.

### Список литературы

1. Плеханов С.Е. Первичные функциональные реакции пресноводных зеленых водорослей на химическое загрязнение. – М., 1999.
2. Алыков Н.М., Савельева Е.С., Сергеева Е.Е., Маркова О.С., Тлеулеева Э.В., Смирнова Н.М. Влияние нефтепродуктов на содержание фотосинтетических пигментов в структурных элементах водных растений. Эколого-биологические проблемы бассейна Каспийского моря: материалы IX Международной конференции. 10-11 октября 2006 года/ отв. ред. В.Н. Пилипенко. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2006. – 314с.

## КОМПЛЕКСОНЫ-ПОЛИАМИНОПОЛИКАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ: КВАНТОВОХИМИЧЕСКОЕ И СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ МОЛЕКУЛ И ИХ СЕРИЙ

**Сикачина А.А.,**

аспирант; ФГАОУ ВПО «Балтийский Федеральный Университет имени И. Канта»  
sikachina@list.ru

**Аннотация.** В приводимой статье показаны и интерпретированы квантовохимические дескрипторы электронной структуры и сгенерированные с их участием коэффициенты корреляции Пирсона для молекул класса аминополикарбонатов (комплексонов).

**Ключевые слова:** ингибирующее действие, квантовохимические дескрипторы, GAUSSIAN-09, сероводородная коррозия, сульфатредуцирующие бактерии, STATISTICA версии 7, метод DFT/B3-LYP (неэмпирический), полуэмпирические методы, оптимизированные молекулы.

## KOMPLEKSONES-POLIAMINOPOLIKARBONIC ACIDS: QUANTOCHEMICAL AND STATISTICAL RESEARCH OF THE ISOLATED MOLECULAS AND THEIR SERIES

**Sikachina A.A.,**

the post-graduate student; FGAOU VPO "BALTIC FEDERAL UNIVERSITY OF THE NAME I. KANT"

**Annotation.** In resulted article are shown and interpreted quantochemical descriptors of electronic frame and the correlation coefficients of Pirson generated with their participation for class molculas aminopolycarbonic acids

**Keywords:** an inhibiting effect, quantochemical descriptors, GAUSSIAN-09, hydrosulphuric corrosion, sulfatreductional bacteria, STATISTICA 7, DFT/B3-LYP (not empirical), the semiempirical methods, the optimised molculas.

**Введение:** Систематизация данных об ингибирующем действии различных органических соединений (ОС) позволила многим ученым (Белоглазов, Иофа, Антропов и пр.) выявить многие закономерности структуры соединения, которые придают ему свойства, ингибирующие сероводородную коррозию металла. Прежде всего такое свойство зависит от наличия в структуре ОС гетероатомов, поскольку несение свободных электронных пар позволяет таким соединениям дозировать электронную плотность на незаполненные d-подуровни металла, давая поверхностные комплексы, в той или иной мере тормозящие катодную и анодную реакцию электрохимической коррозии с участием сероводорода. Как следствие, должно наблюдаться снижение скорости коррозии. В приводимом нами исследовании такие гетероатомы — это азот и кислород, причем первый обладает меньшей электроотрицательностью, что в работах [4,8] расценивается как положительный признак.

**Цель работы:** Цель публикуемого сообщения — показать взаимосвязь между защитным эффектом ингибитора микробиологической коррозии и структурой молекул серии ингибитора микробиологической сероводородной коррозии, порождаемой сульфатвосстанавливающими бактериями и структурой молекул серии ингибитора, точнее, квантовохимическими дескрипторами, значения которых напрямую зависят от структуры. Здесь будет проведена такая взаимосвязь между эффективными зарядами на гетероатомах, дипольным моментом, энергетической щелью, энергией граничных орбиталей, жесткостью молекулы и мягкостью молекулы. Также будут рассмотрены молекулярные эффекты в свете того, как их интерпретируют величины квантовохимических дескрипторов.

**Методы проведения исследования:** Вышеуказанная взаимосвязь выражена путем применения коэффициенты корреляции по Пирсону для концентраций ингибиторов 1, 2, 5, 10 ммоль/л

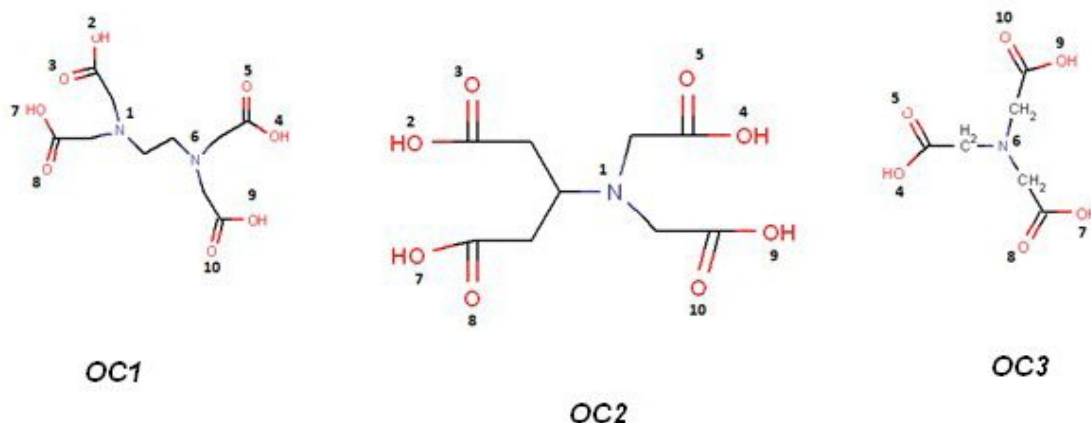


Рис. 1. Примененная нумерация гетероатомов структуры

в программном комплексе STATISTICA версии 7. В структуру расчетов были задействованы квантово-химические дескрипторы оптимизированных молекул, вычисленные неэмпирическим методом (по методу DFT/B3-LYP через базисный набор 3-21G\*) и 2 полуэмпирическими: МПДП и РМ3. Исследуемые 3 соединения были объединены в серию, исходя из общности их молекулярной структуры. Применена следующая атомная нумерация (рис. 1):

**Результаты и обсуждения:** Результаты, полученные по методу DFT/B3-LYP, обеспечивают химическую точность, бесконечно приближаясь к истинным молекулярным параметрам. Очевидно, что метод МПДП дает менее точные результаты, о чем свидетельствуют такие публикации, как /3, 5, 6 /. Дипольный момент (табл. 1) у OC2 – примерно 2,2D - по расчетам неэмпирическому и МПДП равен, РМ3 недооценивает этот дескриптор, а для OC1 и OC3 переоценивает. Для последнего указанные методы дают также примерно равные распределения  $\mu$ .

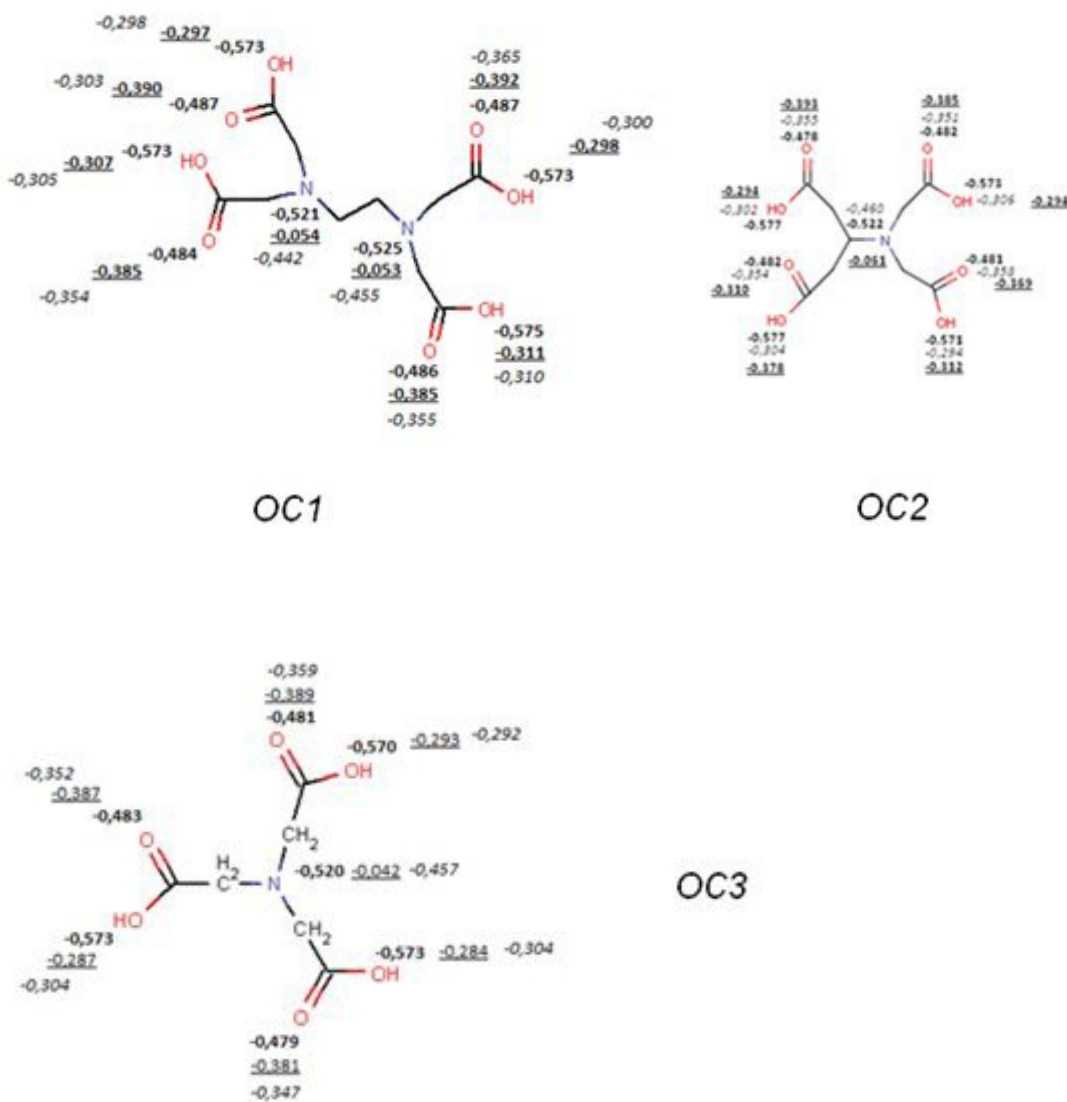
Энергия высшей занятой молекулярной орбитали (ВЗМО) сильно завышается у OC2 и OC3, хотя между собой они также почти идентичны. Для OC1 РМ3 точнее отражает энергию ВЗМО. Касаемо энергии низшей свободной молекулярной орбитали (НСМО), очевидно, что все 3 метода дают равное распределение знаков; положительный

Таблица 1  
Величины энергетической щели и дипольных моментов исследуемых аминополикарбоновых кислот

	OC1	OC2	OC3
<b>PM3</b>			
$E_{\text{ВЗМО}}$	-9,821	-10,221	-10,186
$E_{\text{НСМО}}$	0,481	0,283	0,240
$\eta$	5,151	5,252	5,213
S	0,0971	0,0952	0,0959
$\mu$	3,671	1,729	3,979
<b>MNDO</b>			
$E_{\text{ВЗМО}}$	-10,023	-10,440	-10,381
$E_{\text{НСМО}}$	0,663	0,438	0,449
$\eta$	5,343	5,439	5,415
S	0,0936	0,0919	0,0923
$\mu$	2,574	2,178	3,874
<b>DFT/B3-LYP</b>			
$E_{\text{ВЗМО}}$	-5,324	-5,763	-5,722
$E_{\text{НСМО}}$	0,258	0,018	0,012
$\eta$	2,791	2,890	2,867
S	0,179	0,173	0,174
$\mu$	2,048	2,189	2,966

знак у величины энергии НСМО в расчетах полуэмпирикой говорит о том, что базис VSTO-6G\* достаточно параметризован для соединений этого класса (т.е. он выводился по экспериментальным данным для подобных классов). Большинство подобных работ свидетельствует об отрицательной величине этого дескриптора. Обращает на себя

внимание близость величины энергии НСМО в ОС2 и ОС3: почти полная в неэмпирическом методе, и достаточно полная в методе РМЗ, а тем более в МПДП, что, очевидно, связано с наличием в них единственного атома азота. То же наблюдается и в случае энергии ВЗМО, только сходимость менее полная в РМЗ и МПДП.



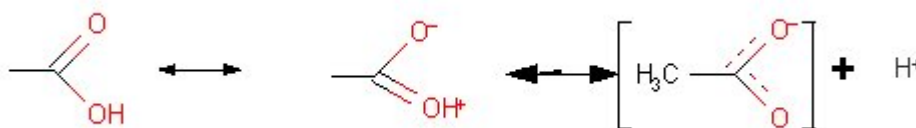
Примечание: данные обозначены начертанием:  
 для МПДП – курсивом, для РМЗ – **жирным**,  
 для неэмпирического – **жирным**.

Рис. 2. Диаграмма распределения парциальных эффективных зарядов

Проводя характеристику парциальных эффективных зарядов (Малликен) (рис. 2), в самом начале обращает на себя внимание явление резкого уменьшения модулей величин зарядов кетогрупп и гидроксил в ряду DFT-PM3-МПДП. Могут наблюдаться равенства величин зарядов, как это видно в случае ОС1 на гидроксиле-9, -4, -2, в ОС3 на гидроксиле-9. На гидроксилах-7 и -4 в ОС3 вышеприведенный ряд принимает вид DFT-МПДП-PM3.

В случае гетероатома азота приведенный ряд принимает вид DFT-МПДП-PM3, т.е. в соединениях этого класса заряды на кислороде кетогруппы и гидроксил лучше отображаются с помощью метода PM3, а заряды азота — методом МПДП. Метод PM3 отображает крайне незначительный заряд на азоте по модулю.

В ОС2 и ОС3 гидроксил имеет меньше по модулю заряд, чем кетогруппа в полуэмпирических методах, но в DFT наоборот. Распределение зарядов согласно полуэмпирике следует считать недостоверным, поскольку неэмпирический метод показывает возможность перехода электронной плотности с гидроксила на кетогруппу, что реализуется при электролитической диссоциации в воде:



Полуэмпирические методы не выводят возможность такого перехода.

DFT показывает практически равное распределение зарядов в ОС1 и ОС3, что легко объяснимо симметричностью молекул: соответственные заряды разнятся на тысячные доли а.е.э. То же наблюдается в случае полуэмпирических методов. Исходя из знаков величин энергии НСМО, очевидно, что исследуемые соединения — жесткие молекулы-нуклеофилы по всем примененным методам. Величина ВЗМО показывает, что молекула обладает донорными свойствами.

Коэффициенты корреляции по Пирсону, отражающие взаимосвязь между концентрацией ингибитора и квантовохимическим дескриптором, в свете применения программного комплекса STATISTICA 7 отображены в таблице 2.

Приведенные коэффициенты корреляции показывают сильную разнородность в знаках и величинах между собой.

При анализе таблицы обращает на себя внимание равенство коэффициенты корреляции у атомов N<sup>1</sup>, O<sup>2</sup>, O<sup>3</sup>, при этом величины коэффициенты корреляции совершенно равны у O<sup>2</sup>, O<sup>3</sup> по неэмпирическому методу и PM3 по всем концентрациям (МПДП показывает данное явление только при концентрации ингибитора 1 ммоль/л), у N<sup>1</sup>, O<sup>2</sup> по неэмпирическому методу и МПДП по всем концентрациям. То же — у O<sup>8</sup> и величины E(НСМО) по методу DFT по всем концентрациям, и N<sup>6</sup>, O<sup>4</sup>, O<sup>5</sup> также по всем концентрациям. Описанные особенности говорят о равном вкладе величин этих зарядов в защитный эффект. Коэффициенты корреляции, привязанные к величинам E(ВЗМО) и S по методам DFT и МПДП показывают достаточно существенную схожесть между собой, как и величины жесткости и мягкости молекулы, где

разница проявляется лишь в знаках величин.

Энергии граничных орбиталей ВЗМО и НСМО при 2, 5, 10 ммоль/л дают очень высокие коэффициенты корреляции, т.к. молекул становится больше, в связи с чем интенсивнее происходит донирование электронной плотности на металл. То же с НСМО, ответственную за физическую адсорбцию — первую стадию ингибирующего действия.

Отсюда видно, что в величину защитного эффекта в равной мере вносят вклад как физическая адсорбция, так и хемосорбция — это показывает сходное распределение коэффициенты корреляции.

Коэффициенты корреляции по Пирсону,  
сгенерированные STATISTICA 7

	DFT/3-21G*				PM3				MNDO			
	1	2	5	10	1	2	5	10	1	2	5	10
$Q_N^1$	0,97	-0,05	-0,38	0,64	0,94	0,05	-0,29	0,71	0,96	-0,02	-0,35	0,66
$Q_N^6$	-0,26	-0,84	-0,61	-0,99	-0,08	-0,93	-0,75	-0,94	-0,28	-0,83	-0,60	-0,99
$Q_o^4$	-0,27	-0,84	-0,61	-0,99	0,82	-0,79	-0,95	-0,17	-0,96	0,55	0,79	-0,16
$Q_o^5$	-0,27	-0,84	-0,61	-0,99	0,88	0,19	-0,15	0,80	0,84	-0,77	-0,94	-0,14
$Q_o^2$	0,97	-0,06	-0,39	0,63	0,97	-0,06	-0,39	0,63	0,96	-0,03	-0,36	0,65
$Q_o^3$	0,97	-0,06	-0,39	0,63	0,97	-0,07	-0,40	0,63	0,93	0,07	-0,27	0,73
$Q_o^7$	0,92	-0,64	-0,86	0,05	-0,72	-0,45	-0,13	-0,94	0,82	0,31	-0,03	0,87
$Q_o^8$	-0,71	0,88	0,99	0,34	0,91	0,11	-0,23	0,76	-0,19	-0,88	-0,67	-0,97
$Q_o^9$	0,82	-0,79	-0,95	-0,17	-0,47	-0,70	-0,42	-1,00	-0,91	-0,13	0,20	-0,77
$Q_o^{10}$	0,86	0,22	-0,11	0,82	0,98	-0,09	-0,42	0,61	1,00	-0,38	-0,67	0,35
$\mu$	0,99	-0,20	-0,51	0,52	0,39	0,76	0,50	1,00	0,89	0,17	-0,17	0,79
<b>E(ВЗМО)</b>	-0,63	0,93	1,00	0,43	-0,64	0,93	1,00	0,42	-0,60	0,94	1,00	0,47
<b>E(НСМО)</b>	-0,71	0,88	0,99	0,33	-0,81	0,80	0,96	0,19	-0,67	0,91	1,00	0,39
$\eta$	0,52	-0,97	-1,00	-0,55	0,37	-1,00	-0,97	-0,68	0,50	-0,97	-0,99	-0,57
<b>S</b>	-0,58	0,95	1,00	0,49	-0,39	1,00	0,97	0,67	-0,52	0,97	1,00	0,55



Также наблюдается близость коэффициенты корреляции в методах DFT и МПДП у следующих атомов: N<sup>1</sup> и N<sup>6</sup> и величин граничных орбиталей, жесткости и мягкости молекул (только по модулю во всех методах) по всем концентрациям, что может свидетельствовать о лучшей параметризации МПДП по сравнению с РМЗ.

В данной серии молекул отсутствуют яркие выраженные прямые связи защитного эффекта с рассматриваемыми дескрипторами. Лишь коэффициенты корреляции, привязанные к зарядам на атомах O<sup>8</sup>, O<sup>10</sup>, величины граничных орбиталей и мягкости молекулы с большой вероятностью могут считаться прямыми. Наблюдается обратно пропорциональные коэффициенты корреляции, существенных согласно шкале Чеддока, у атома N<sup>6</sup> и величины жесткости молекулы. С большой вероятностью то же можно сказать об O<sup>4</sup>, (где присутствуют отрицательные знаки на всех коэффициенты корреляции, привязанных к вычисленным по DFT зарядам; в других методах это выражено неявно), O<sup>9</sup> (где отрицательные знаки проявляются по неэмпирическому методу, начиная с концентрации 2 ммоль/л, что, вероятно, объясняется их отрицательными зарядами, которые, начиная с этой концентрации, негативно влияют на ингибирующие свойства данной серии молекул/1,2,3/; полуэмпирические методы также отражают эти явления).

Коэффициенты корреляции на таких атомах и величинах, как O<sup>7</sup>, O<sup>10</sup>, дипольный момент, энергии граничных орбиталей и мягкость молекулы, показали от концентрации к концентрации переходы от отрицательного знака коэффициенты корреляции к положительному и наоборот, что изменяется естественным изменением численности молекул при разных концентрациях ингибитора и показание разных качеств в зависимости от количества.

Линейные прямые зависимости реализуются на атомах: O<sup>10</sup> (метод МПДП в концентрации 1 ммоль/л), величины:  $\mu$  (метод РМЗ в концентрации 10 ммоль/

л), E(ВЗМО) (по всем примененным методам в концентрации 5 ммоль/л), S (методы неэмпирический и МПДП в концентрации 5 ммоль/л, а также метод РМЗ в концентрации 2 ммоль/л).

Линейные обратные коэффициенты корреляции прослеживаются на атомах: N<sup>6</sup> (по методу МПДП и DFT в концентрации 10 ммоль/л), O<sup>4</sup> и O<sup>5</sup> (по методу DFT в концентрации 10 ммоль/л), O<sup>9</sup> (по методу РМЗ в концентрации 10 ммоль/л), величина жесткости молекулы (по методу МПДП и РМЗ в концентрации 2 и 5 ммоль/л, а также по методу неэмпирическому в концентрации 5 ммоль/л).

**Вывод:** При анализе квантово-химических вычисленных величин было замечено, что метод МПДП из примененных полуэмпирических лучше подходит для описания данной серии структурно подобных молекул аминополикарбонатов.

Далее, было показано, что в целом данные молекулы будут плохо защищать от коррозии, и эта их особенность явным образом зависит от концентрации. Физическая адсорбция происходит, очевидно, за счет только энергии граничной орбитали НСМО, при условии, что другие факторы, могущие каким-либо образом трансформировать такие молекулы, отсутствуют. В основном заряды на кетогруппах дают положительный вклад в защитный эффект от коррозии, а заряды на гидроксиллах – отрицательный.

Некоторые из кислородов кетогрупп, входящих в структуру молекул, при увеличении концентрации ОС начнут донировать электроны на вакантные d-подуровни металла (что характеризуется сменой знака коэффициенты корреляции с отрицательного на положительный), в других случаях реализуется обратная ситуация (смена знаков коэффициенты корреляции противоположна).

Стерически мешающих групп атомов, очевидно, нет. Наблюдалось много равных вкладов в защитный эффект со стороны кислородных атомов, что также можно объяснить проявляемыми в молекулах данной серии эффектами сопряжения.

**Список литературы**

1. Dunning T.H., Hay P.J. Gaussian basis sets for molecular calculations. / Modern Theoretical Chemistry – Vol. 3. / Ed. H.F. Schaefer III. – N.Y.: Plenum Press, 1977. – P. 1 – 28.
2. В.А.Блатов, А.П.Шевченко. Методы компьютерной химии и комплекс программ HYPERCHEM. Самара: СамГУ, 1999.
3. В.А.Блатов. Неэмпирические расчетные методы квантовой химии. Самара:СамГУ, 1996.
4. В.М. Петров, В.Н. Петрова, Г.В. Гиричев, Х. Оберхаммер, С.Н. Иванов. Электронографическое и квантовохимическое исследование конформационных свойств молекулы 1,3-бензолдисульфохлорида. // ЖСХ. 2007. Т. 48, № 4, С.686-692.
5. Исаева Г.А., Исаев П.П. // Журн. физ. химии. – 1992. – 66, № 4. – С. 999 – 1006.
6. Угрюмов О.В., Ившин О.В., Фахретдинов П.С. Ингибиторы коррозии металлов ряда N-[изононилфеноксиполи(этиленокси)карбонилметил]аммоний хлоридов. I. Ингибирование коррозии стали в солянокислых водных средах // Защита металлов. – 2001. – Т. 37. - № 4. – С. 380-385.
7. Фахретдинов П.С., Романов Г.В., Угрюмова В.С. [и др.]. Четвертичные аммониевые соединения с разрывами гидрофобности в длинноцепочечных радикалах // XVII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тез. докл. – Казань: изд-во ООО «Центр опер. печати», 2003. – Т2. – С. 345.
8. Холиков А.Ж., Акбаров Х.И., Тиллаев Р.С. Защитные свойства ингибиторов на основе фосфорной кислоты в различных средах // “Новые технологии получения композиционных материалов на основе местного сырья и их применение в производстве”. Республиканская научно-техническая конференция. Тез. докл. -Тошкент, 2005. -С.39.

## Требования к оформлению рукописей статей, направляемых для публикации в журнале



Для публикации научных работ в выпусках серий научно–практического журнала "Современная наука: актуальные проблемы теории и практики" принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе "Антиплагиат".

**За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.**

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно–практический журнал "Современная наука: актуальные проблемы теории и практики" проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

### Правила оформления текста.

- ◆ Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением ".doc", или ".rtf", шрифт 14 Times New Roman.
- ◆ Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- ◆ Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- ◆ Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- ◆ Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускается.
- ◆ Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- ◆ Список литературы составляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003.
- ◆ Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

### Правила написания математических формул.

- ◆ В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- ◆ Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- ◆ Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

### Правила оформления графики.

- ◆ Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- ◆ Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0–11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные – 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф–редактору научнопрактического журнала "Современная наука: актуальные проблемы теории и практики" (e-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru)).