



# ИННОВАЦИИ В НАУКЕ

*Сборник статей по материалам  
LI международной научно-практической конференции*

№ 11 (48)  
Ноябрь 2015 г.

Часть I

Издается с октября 2011 года

Новосибирск  
2015

УДК 08  
ББК 94  
И 66

Ответственный редактор: Васинович М.А.

Председатель редколлегии: д-р психол. наук, канд. мед. наук **Дмитриева Наталья Витальевна**.

Редакционная коллегия:

канд. юрид. наук **Л.А. Андреева**,  
канд. техн. наук **Р.М. Ахмеднабиев**,  
д-р техн. наук, проф. **С.М. Ахметов**,  
канд. тех. наук, д-р философии по  
искусствоведению **В.Ю. Барштейн**,  
канд. юрид. наук **О.А. Бахарева**,  
канд. мед. наук **В.П. Волков**,  
канд. пед. наук **М.Е. Виговская**,  
канд. тех. наук, д-р пед. наук  
**О.В. Виштак**,  
канд. филос. наук **Т.А. Гужавина**,  
д-р филол. наук **Е.В. Грудева**,  
канд. техн. наук **Д.В. Елисеев**,  
канд. юрид. наук **В.Н. Жамулинов**,  
канд. физ.-мат. наук **Т.Е. Зеленская**,  
канд. пед. наук **С.Ю. Иванова**,  
д-р психол. наук **В.С. Карапетян**,  
канд. филос. наук **В.Е. Карпенко**,  
д-р хим. наук **В.О. Козьминых**,  
канд. техн. наук **А.Ф. Копылов**,  
канд. физ.-мат. наук **В.С. Королев**,  
канд. экон. наук, канд. филол. наук  
**С.Ю. Костылева**,  
канд. искусствоведения  
**И.М. Кривошей**

д-р культурологии, проф.  
**И.А. Купцова**  
канд. ист. наук **К.В. Купченко**,  
д-р биол. наук, проф. **М.В. Ларионов**,  
канд. мед. наук **Е.А. Лебединцева**,  
канд. пед. наук **Т.Н. Ле-ван**,  
канд. экон. наук **Г.В. Леонидова**,  
канд. филол. наук **Ж.Н. Макушева**,  
д-р мед. наук **О.Ю. Милушкина**,  
канд. филол. наук **Т.В. Павловец**,  
канд. ист. наук **Д.В. Прошин**,  
канд. техн. наук **А.А. Романова**,  
канд. физ.-мат. наук **П.П. Рымкевич**,  
канд. психол. наук **Н.В. Сидячева**,  
канд. ист. наук **И.С. Соловенко**,  
канд. ист. наук **А.Н. Сорокин**,  
д-р филос. наук, канд. хим. наук  
**Е.М. Сүлеймен**,  
д-р экон. наук **Л.А. Толстолесова**,  
канд. биол. наук **В.Е. Харченко**,  
д-р пед. наук, проф. **Н.П. Ходакова**,  
д-р филол. наук **Л.Н. Чурилина**,  
канд. ист. наук **В.Р. Шаяхметова**,  
канд. с-х. наук **Т.Ф. Яковишина**,  
канд. пед. наук **С.Я. Якушева**.

**И66 Инновации в науке** / Сб. ст. по материалам LI междунар. науч.-практ. конф. № 11 (48). Часть I. Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2015. 204 с.

Учредитель: АНС «СибАК»

Сборник статей «Инновации в науке» включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

## **Оглавление**

<b>Секция 1. Физико-математические науки</b>	<b>7</b>
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРОВ МЕТАЛЛА НА СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМЫ Жайнаков Аманбек Жайнакович Султангазиева Рена Турдубековна Аманкулова Нургуль Асимкановна	7
УПРАВЛЕНИЕ ГАМИЛЬТОНОВОЙ СИСТЕМОЙ С УЧЕТОМ ВОЗМУЩЕНИЙ Королев Владимир Степанович Новоселов Виктор Сергеевич	23
УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СОСТОЯНИЙ ДВИЖЕНИЯ Королев Владимир Степанович Потоцкая Ирина Юрьевна	29
УПРАВЛЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В ОКРЕСТНОСТИ РЕЗОНАНСА ПРИ СПУСКЕ В АТМОСФЕРЕ ВЕНЕРЫ Любимов Владислав Васильевич Лашин Вячеслав Сергеевич	44
<b>Секция 2. Химические науки</b>	<b>53</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ СЕРУСОДЕРЖАЩИХ АМИНОКИСЛОТ Васина Янина Александровна Яблоков Вениамин Александрович	53
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖКОМПОНЕНТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ И ФЕНИРАМИНА МАЛЕАТА В МОДЕЛЬНЫХ СМЕСЯХ МЕТОДОМ КАЛОРИМЕТРИИ Ельцова Наталья Олеговна Будко Елена Вячеславовна Ямпольский Леонид Михайлович Клёсова Елена Юрьевна Волкова Анастасия Владимировна Костырко Дарья Григорьевна	61

УСТОЙЧИВЫЕ ПОЛУАЦЕТАЛИ НА ОСНОВЕ 2Н-1,4-БЕНЗОКСАЗИНОВ – ПРОДУКТЫ РЕАКЦИИ НЕКОТОРЫХ 1,3,4,6-ТЕТРАКАРБОНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С 2-АМИНОФЕНОЛАМИ Козьминых Владислав Олегович Муковоз Пётр Петрович	71
ПОЛУЧЕНИЕ ФЕРРАТ-ИОНОВ (VI) ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВОДЫ И СТОЧНЫХ ВОД Митина Оксана Александровна Торетаев Медет Умирзакович Юрченко Инна Викторовна	79
<b>Секция 3. Технические науки</b>	<b>89</b>
ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЖАРОСТОЙКОСТИ И ВЫБОР ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СПЛАВОВ ХРОМА Васильев Евгений Викторович	89
ПАРОВОДЯНАЯ ПЛАЗМЕННАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ НА УСТАНОВКЕ MULTIPLAZ 3500 Бу Ван Гюи Балановский Андрей Евгеньевич	95
РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ КРИПТОГРАФИЧЕСКИ СТОЙКОГО ГЕНЕРАТОРА VLUM-VLUM-SHUB Выборнова Юлия Дмитриевна	102
АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫБОРА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ Гладышева Мария Михайловна Сухачева Евгения Константиновна Хатюшина Татьяна Владимировна	107
АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ SECURITY AS A SERVICE В СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЯХ Глухова Татьяна Васильевна Горина Екатерина Вячеславовна Ручина Ольга Михайловна	115

<p>АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ          КОНСТРУКЦИЙ МЕХОВОЙ ОДЕЖДЫ          В СОВРЕМЕННЫХ САПР          Гусева Марина Анатольевна          Андреева Елена Георгиевна          Петросова Ирина Александровна</p>	121
<p>ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ          ДЛЯ РАСЧЕТА МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ          ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ          РЕЖИМАХ РАБОТЫ          Осипов Дмитрий Сергеевич          Коваленко Дмитрий Валерьевич          Файфер Лилия Андреевна</p>	126
<p>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ          ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ ПРИ СМЫКАНИИ          С САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНОЙ ДЕЙСТВУЮЩЕГО          ПРЕДПРИЯТИЯ          Кузьмина Татьяна Васильевна          Белявская Оксана Шавкатовна</p>	142
<p>ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЯ И ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗА          ДЛЯ СИНТЕЗА МОТОРНЫХ ТОПЛИВ          Набиев Марат Аскенович          Ермағамбет Болат Төлеухан-ұлы          Бектурганов Нуралы Султанович          Нургалиев Нуркен Утеуович          Касенова Жанар Муратбековна</p>	150
<p>КИНЕТИКА ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ УГЛЯ          ШУБАРКОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ          Набиев Марат Аскенович          Ермағамбет Болат Төлеухан-ұлы          Бектурганов Нуралы Султанович          Нургалиев Нуркен Утеуович          Касенова Жанар Муратбековна          Бижанова Ляззат Нурлановна</p>	156
<p>БИНАРНЫЕ СИСТЕМЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО          КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ          Осипов Владимир Александрович          Данилов Дмитрий Владимирович          Шаталов Николай Ильич          Шаталов Илья Николаевич          Морозов Анатолий Николаевич</p>	161

ОПТИМИЗАЦИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ ПО ИННОВАЦИОННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ Морозов Виктор Николаевич Краснощеков Игорь Леонидович Павлович Игорь Львович Павлова Мария Игоревна Красинский Дмитрий Борисович Павлович Лев Анатольевич	167
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕРМОСИЛОВОЙ ОБРАБОТКИ И ОБРАБОТКИ ХОЛОДОМ Воронов Дмитрий Юрьевич Попов Александр Валерьевич	172
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГО- КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ Сазанова Татьяна Александровна Суима Вероника Евгеньевна Щербань Кирилл Владимирович	178
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ КОРПУСА Р-1 ОАО «ВОЛТАЙР-ПРОМ» Сухина Ксения Николаевна	185
АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ НОРМАТИВНЫХ И РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК НА ОСНОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ НОРМ Сухина Ксения Николаевна	190
ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ Битюцкая Наталья Ивановна Шевченко Дмитрий Александрович	196

## СЕКЦИЯ 1.

### ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРОВ МЕТАЛЛА НА СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМЫ

***Жайнаков Аманбек Жайнакович***

*д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой информационные технологии  
и математическое моделирование им. акад. А. Жайнакова,  
проф., академик Кыргызского Государственного  
Технического Университета,  
Республика Кыргызстан, г. Бишкек  
E-mail: [jainakov-41@mail.ru](mailto:jainakov-41@mail.ru)*

***Султангазиева Рена Турдубековна***

*канд. физ.-мат. наук, доцент Кыргызского Государственного  
Технического Университета,  
Республика Кыргызстан, г. Бишкек  
E-mail: [renasultangazieva@mail.ru](mailto:renasultangazieva@mail.ru)*

***Аманкулова Нургуль Асимкановна***

*ст. преподаватель Кыргызского Государственного  
Технического Университета,  
Республика Кыргызстан, г. Бишкек  
E-mail: [a\\_nur4@mail.ru](mailto:a_nur4@mail.ru)*

## NUMERICAL SIMULATION OF METAL VAPORS ON THE PROPERTIES ELECTRIC ARC PLASMA

*Amanbek Zhaynakov*

*doctor Sciences, Head of Department of Information Technology  
and Mathematical Modeling im. akad. A. Zhaynakova,  
Professor, academician of the Kyrgyz State Technical University,  
Republic of Kyrgyzstan, Bishkek*

*Rena Sultangazieva*

*candidate Science, Associate Professor  
of the Kyrgyz State Technical University,  
Republic of Kyrgyzstan, Bishkek*

*Nurgul Amankulova*

*senior Lecturer of Kyrgyz State Technical University,  
Republic of Kyrgyzstan, Bishkek*

### АННОТАЦИЯ

Предложена математическая модель учета влияния паров металла на процессы в аргоновой плазме при электродуговой сварке. Система МГД уравнений столба электрической дуги и обрабатываемого изделия дополняется уравнением конвективной диффузии паров металла. Поставлены граничные условия для концентрации паров металла в расчетной области. Система решена в переменных «вихрь-функция тока». Определены коэффициенты переноса для аргоновой плазмы с различным содержанием паров железа. На основании предложенной модели проведены численные исследования влияния паров металла на свойства сварочной дуги.

### ABSTRACT

A mathematical model considering the influence of metal vapors on the processes in an argon plasma in electric arc welding. The system of MHD equations arc column and the workpiece is supplemented by the equation of convective diffusion of metal vapor. We set the boundary conditions for the concentration of the metal vapor in the computational domain. The system is solved in the variables "whirlwind-function of a current". Determined transport coefficients for argon plasma with various content of iron vapor. On the basis of the offered model numerical researches of influence of vapors of metal on properties of a welding arch are conducted.



**Ключевые слова:** электродуговая сварка; МГД уравнения, напряженность вихря; эффект Марангони; пары металла; коэффициент диффузии; приближение вязкой аппроксимации; сварочная ванна.

**Keywords:** arc welding; the MHD equations; vortex strength; Marangoni effect; metal vapors; diffusion coefficient; approach of viscous approximation; weld pool.

Электродуговая сварка характеризуется высокими значениями градиентов температуры расплавляемого дугой металла, при этом значительная часть поверхности металла сварочной ванны находится при температуре близкой к температуре кипения и выделяет в зону дуги определенное количество паров металла, что оказывает существенное влияние на основные физические свойства дуги, энергетическую эффективность, влияет на размер и формы сварочной ванны. Атомы металла имеют более низкий потенциал ионизации по сравнению с инертными газами, такими как аргон и гелий. Так, например, потенциал ионизации аргона составляет 15,755 эВ, а потенциал ионизации железа – 7,8 эВ. Это увеличивает излучение и электропроводность плазмы и обуславливает изменение состава и свойств плазменной дуги в анодной области и некоторой части столба дуги. В свою очередь, испарение примесей изменяет состав расплавленного металла, что может вызвать изменения в микро-структуре металла и механических свойствах сплавов.

В данной работе предлагается математическая модель совместного рассмотрения области электродуговой плазмы и обрабатываемого изделия при их взаимном влиянии друг на друга с учетом влияния паров металла испаряемого анода. Физические процессы в столбе электродугового разряда и взаимодействующего с этим разрядом жидком металле описываются единой системой уравнений магнитной гидродинамики. При записи МГД уравнений в наиболее простом виде предполагается, что в электродуговом разряде выполняются следующие условия: среда является сплошной, между скоростью деформации и напряжением существует линейная связь, выполняется условие локального термодинамического равновесия, излучение ионизированного газа объемное, течения установившиеся и ламинарные [1, с. 189]. Система МГД уравнений в цилиндрических координатах имеет следующий вид:

Уравнение неразрывности:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r u)}{\partial r} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Уравнения движения для радиальной составляющей:

$$\rho v \frac{\partial v}{\partial r} + \rho u \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial r} - j_z B_\varphi + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu r \frac{\partial v}{\partial r} \right) - 2\mu \frac{v}{r^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \left( \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{2}{3} \mu \left( \frac{1}{r} \frac{\partial(rv)}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right) \quad (2)$$

Уравнения движения для аксиальной составляющей:

$$\rho v \frac{\partial u}{\partial r} + \rho u \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + j_r B_\varphi + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu r \left( \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{2}{3} \mu \left( \frac{1}{r} \frac{\partial vr}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right) + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) + S_u \quad (3)$$

Закон сохранения энергии:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \rho v h - \frac{\lambda}{c_p} \frac{\partial h}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho u h - \frac{\lambda}{c_p} \frac{\partial h}{\partial z} \right) = \frac{1}{\sigma} (j_r^2 + j_z^2) - q + S_{c_1} \quad (4)$$

Уравнения Максвелла:

$$\frac{\partial E_r}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial r} = 0; \quad \frac{1}{r} \frac{\partial r H_\varphi}{\partial r} = j_z; \quad -\frac{\partial H_\varphi}{\partial z} = j_r \quad (5)$$

Закон Ома:

$$j_r = \sigma E_z, \quad j_z = \sigma E_r \quad (6)$$

Система дополняется уравнением конвективной диффузии паров металла [8, с. 2]:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v C_1) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho u C_1) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \rho D \frac{\partial C_1}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho D \frac{\partial C_1}{\partial z} \right) \quad (7)$$

Приняты следующие обозначения:  $u, v$  – аксиальная и радиальная скорости потока;  $P$  – давление;  $T$  – температура;  $j$  – плотность тока,  $E$  – напряженность электрического поля,  $H$  – напряженность магнитного поля,  $B$  – магнитная индукция,  $C_1$  – весовая концентрация паров металла,  $D$  – коэффициент диффузии,  $\rho$  – плотность плазмы,  $c_p$  – теплоемкость при постоянном давлении,  $\mu$  – вязкость,  $\lambda$  – теплопроводность,  $q$  – излучательная способность,  $\sigma$  – электропроводность,  $h$  – энтальпия.

В уравнении движения:  $S_u = \begin{cases} 0 & \text{для дуги} \\ \rho g - \rho g \beta (T - T_0) & \text{для ванны} \end{cases}$

где  $\beta$  – коэффициент термического расширения,  $g$  – ускорение свободного падения.

В уравнении энергии для сварочной ванны используется эффективная теплоемкость:  $c_p^{ef} = c_p + \Delta H_f \frac{\partial f_L}{\partial T}$ ,

где  $\Delta H_f$  – удельная теплота плавления материала анода.

В сварочной ванне жидкая фракция  $f_L$  меняется линейно от температуры:

$$f_L = \begin{cases} 1 & T > T_l \\ \frac{T - T_s}{T_l - T_s} & T_s < T < T_l \\ 0 & T < T_s \end{cases}$$

$T_s$  – температуры твердой фазы,  $T_l$  – температуры жидкой фазы металла анода. Слагаемое  $S_{C_1} = -\nabla \left[ (h_m - h) \frac{\lambda}{c_p} \nabla C_1 \right]$  в правой части закона сохранения энергии определяет изменение энтальпии за счет перемешивания паров металла и плазмообразующего газа,  $h_m$  – энтальпия паров металла.

Взаимодействие между плазмой и парами металла, их взаимное влияние друг на друга определяется через теплофизические свойства среды как функции температуры и концентрации паров металла в плазме:

$$\sigma = \sigma(T, C_1), \lambda = \lambda(T, C_1), \mu = \mu(T, C_1), \rho = \rho(T, C_1), \\ q = q(T, C_1), c_p = c_p(T, C_1), h = h(T, C_1);$$

Для определения коэффициента диффузии используется приближение вязкой аппроксимации [7, с. 517]. Диффузный коэффициент в данном приближении вычисляется по формуле:  $D_{Ar-Fe} =$

$$\frac{2\sqrt{2} \left( \frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)^{0.5}}{\left( \left( \frac{\rho_1^2}{\beta_1^2 \eta_1^2 M_1} \right)^{0.25} + \left( \frac{\rho_2^2}{\beta_2^2 \eta_2^2 M_2} \right)^{0.25} \right)^2}$$

где:  $M_1, M_2$  – молярный вес металла и плазмообразующего газа;  
 $\rho_1, \rho_2, \eta_1$  и  $\eta_2$  – плотность и вязкость металла и газа соответственно;  
 $\beta_1 = \beta_2 = 1.385$  по экспериментальным данным.

Система МГД уравнений решается в переменных «вихрь-функция тока» введением следующих переменных:  $\omega$  – напряженность вихря,  $\psi$  – функция тока,  $\chi$  – функция электрического тока, которые

в случае цилиндрической системы координат при осевой симметрии определяются соотношениями:

$$\omega = \frac{1}{r} \left( \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial u}{\partial r} \right); \frac{\partial \psi}{\partial r} = \rho u r; -\frac{\partial \psi}{\partial z} = \rho v r; \frac{\partial \chi}{\partial r} = r j_z; -\frac{\partial \chi}{\partial z} = r j_r$$

Тогда исходная система запишется в следующем каноническом виде:

$$a \left[ \frac{\partial}{\partial z} \left( \varphi \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left( \varphi \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial z} \left[ b \frac{\partial}{\partial z} (c\varphi) \right] - \frac{\partial}{\partial r} \left[ b \frac{\partial}{\partial r} (c\varphi) \right] + e r = 0$$

где:  $\varphi$  – искомая функция, принимающая значения  $\omega, \psi, h, \chi$  и  $C_1$ ,  
 $a, b, c, e$  – нелинейные коэффициенты, соответствующие каждому из уравнений. Значения данных коэффициентов представлены в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Значения коэффициентов канонического уравнения**

$\varphi$	$a$	$b$	$c$	$e$
$\omega$	$r^2$	$r^3$	$\mu$	$-r^2 \left[ \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{u^2 + v^2}{2} \right) \frac{\partial \rho}{\partial r} - \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{u^2 + v^2}{2} \right) \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{\mu}{r^3} \frac{\partial \chi}{\partial z} - g \frac{\partial \rho}{\partial r} + S_w \right]$
$\psi$	$0$	$\frac{1}{\rho r}$	$1$	$\omega r$
$h$	$1$	$\frac{\lambda}{c_p} r$	$1$	$\frac{1}{\sigma r} \left[ \left( \frac{\partial \chi}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{\partial \chi}{\partial z} \right)^2 \right] - \psi r + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \left( \rho D - \frac{\lambda}{c_p} \right) (h_m - h_p) \frac{\partial C_1}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial r} \left[ \left( \rho D - \frac{\lambda}{c_p} \right) (h_m - h_p) \frac{\partial C_1}{\partial r} \right]$
$\chi$	$0$	$\frac{1}{\sigma r}$	$1$	$0$
$C_1$	$1$	$\rho r D$	$1$	$0$

Единая форма записи позволяет при решении системы уравнений использовать один и тот же алгоритм расчета. Для решения полученной системы дифференциальных уравнений необходимо задать граничные условия для данных функций. Поскольку уравнения системы являются уравнениями эллиптического типа, то граничные

условия должны быть заданы по всему контуру, охватывающему расчетную область. Схема расчетной области представлена на рис. 1. Неплавящийся катод реального плазматрона представляет собой цилиндр с плоским торцом, анодом служит обрабатываемое изделие, система находится в замкнутом объеме, ограниченная боковыми стенками на расстоянии R.

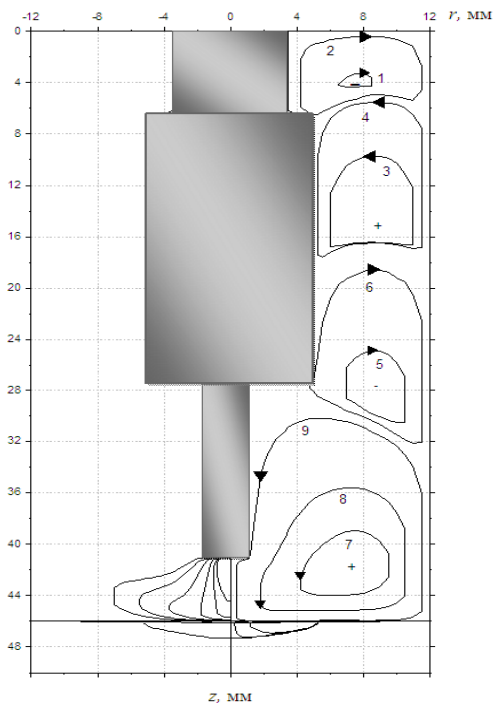


Рисунок 1. Схема расчетной области

Граничные условия ставятся следующим образом:

1) На боковой границе катода: для функции тока выполняется условие непроницаемости  $\psi = 0$ , функция  $\omega$  определяется из условия прилипания  $\frac{\partial \psi}{\partial r} = 0$ . Температура принимается равной  $T_0 = 300\text{K}$ , тем самым определяется  $h = h(T_0)$ . Функция электрического тока  $\chi = \frac{I}{2\pi}$ . Концентрация паров металла  $C_1 = 0$ .

2) На торце катода:

$$\psi = 0; \frac{\partial \psi}{\partial z} = 0; h = h(T_k(r)); \chi_k = \frac{I}{2\pi \int_0^{R_k} \sigma r dr} \times \int_0^r \sigma r dr; C_1 = 0;$$

где:  $T_k(r) = (T_{\text{кип}} - T_0) \left(1 - \frac{r}{R_k}\right)^m \left(1 + \frac{r}{R_k} m\right) + T_0;$

$T_{\text{кип}}$  – температура кипения катодного материала;

$m$  – степень заполнения профиля температуры;

$R_k$  – радиус катодного пятна.

3) На боковой границе плазматрона:

$$\psi = 0; \frac{\partial \psi}{\partial r} = 0; h = h(T_0); \chi = \frac{I}{2\pi}; C_1 = 0;$$

4) На оси столба дуги выполняются условия симметрии:

$$\psi = 0; \frac{\partial \omega}{\partial r} = 0; \frac{\partial h}{\partial r} = 0; \chi = 0; \frac{\partial C_1}{\partial r} = 0;$$

5) Границу «дуга-анод» считаем горизонтальной линией раздела двух вязких несмешивающихся жидкостей:  $\psi = 0$ . Для переменной «напряженность вихря» учитывается вязкое взаимодействие потоков электрической дуги со сварочной ванной и эффект Марангони:

$$\mu_p \frac{\partial v_p}{\partial z} = \mu_a \frac{\partial v_a}{\partial z} - f_l \frac{\partial \alpha}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial r}, \text{ т.е. } \mu_p w_p r = \mu_a w_a r - f_l \frac{\partial \alpha}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial r};$$

где индекс “ $p$ ” относится к дуговой плазме, индекс “ $a$ ” –к материалу анода.

При постановке граничных условий для температуры учитывается, что тепловые потери с поверхности сварочной ванны включают радиационные потери и потери на испарение:  $\lambda_a \frac{\partial T_a}{\partial z} =$

$$\lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial z} - \sigma_\varepsilon \varepsilon (T_a^4 - T_0^4) - W_v h_{fg}$$

где:  $\sigma_\varepsilon$  – коэффициент Стефана-Больцмана;

$\varepsilon$  – излучательная способность анода;

$h_{fg}$  – удельная теплота испарения;

$W_v$  – скорость испарения, которая находится из следующего приближения [9, с.233]:  $\log W_v = A_v + \log P_{atm} - 0,5 \log T$

$A_v$  – постоянная, зависящая от материала обрабатываемого изделия;

$P_{atm}$  – атмосферное давление.

Линии электрического тока подходят нормально к границе раздела фаз:  $\frac{\partial \chi_p}{\partial z} = \frac{\partial \chi_a}{\partial z};$

Концентрация паров металла на поверхности анода, где температура выше температуры плавления определяется выражением [5, с. 153]:

$$C_1 = \frac{p_{v,1}M_1}{p_{v,1}M_1 + (p_{atm} - p_{v,1})M_2}$$

где  $p_{v,1}$  – парциальное давление паров металла, которое является функцией температуры расплавленного металла сварочной ванны.

Для определения давления паров металла при различных температурах можно использовать упрощенное уравнение Клапейрона-Клаузиуса, которое для удобства расчетов приводится к виду [2, с. 352]:

$$P_{vap} = P_{atm} \exp\left(\frac{-H_{vap}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{boi}}\right)\right)$$

где:  $H_{vap}$  – молярная теплота испарения;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$T_{boi}$  – температура кипения материала анода.

При численном моделировании в качестве анода выбирается стальная пластина, содержащая более 97 %, железа в своем составе. На практике при электродуговой сварке стали, частицы паров металла содержат Fe, Mn, Cr, Ni. В целях упрощения модели рассматриваются только пары основного металла - Fe. Формула Клайперона-Клаузиуса для определения парциального давления паров получена для равновесного состояния, что труднодостижимо для процессов испарения, протекающих во время сварки. Однако зависимость сохраняется и поэтому в первом приближении может быть применима.

б) На нижней границе обрабатываемого изделия:

$$\psi = 0; w = 0; h = h(T_0); \frac{\partial \chi}{\partial z} = 0;$$

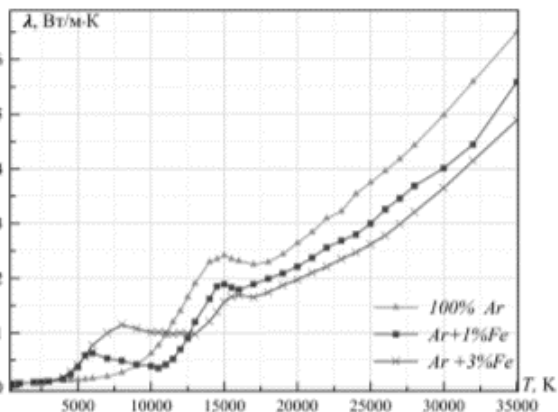
7) На боковой границе обрабатываемого изделия:

$$\psi = 0; w = 0; h = h(T_0); \chi = \frac{l}{2\pi};$$

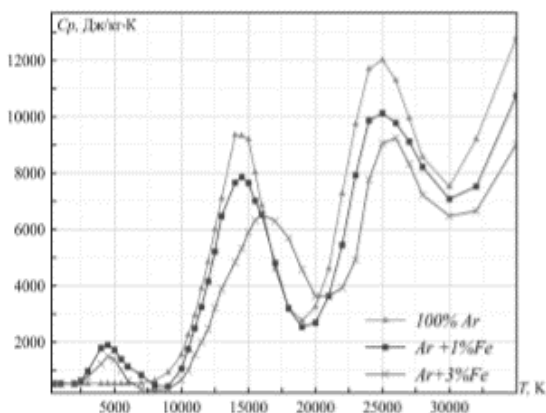
В области анода уравнение конвективной диффузии паров металла не решается.

Граничные условия для напряженности вихря задавались в точке, отстоящей на один шаг от твердой границы, что позволило избежать неоднозначности задания граничных условий в угловых точках и обеспечить устойчивую сходимость решения на прямоугольной сетке для границы любой формы.

На основании свойств чистых компонентов, с помощью программных пакетов АСТРА и ТЕРРА рассчитаны коэффициенты переноса для смесей Ar+1 % Fe, Ar+3 % Fe (рис. 2). Полученные данные находятся в хорошем согласовании с данными, приведенными в работе [6, с. 4340]. Как видно из графиков, при содержании паров железа уже с 1 % электропроводность и излучение имеют заметное отличие в интервале температур от 5000 до 10000 К. В этой области лежит изотерма в 8000К, которую обычно принимают за видимую границу дуги. Наличие данных концентраций паров металла не привели к заметным отличиям для плотности и вязкости смеси, поэтому здесь не приведены.

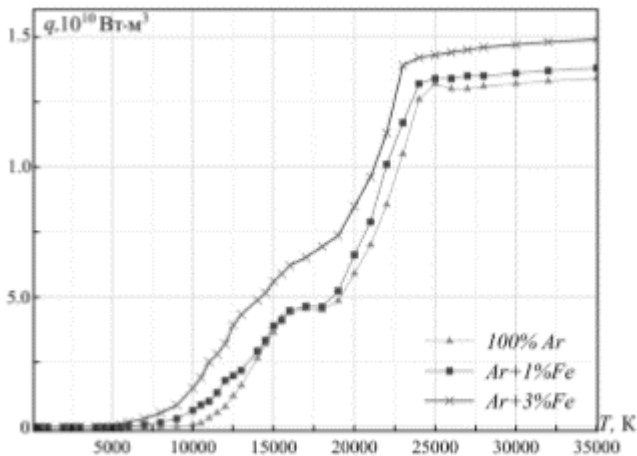


а) Теплопроводность

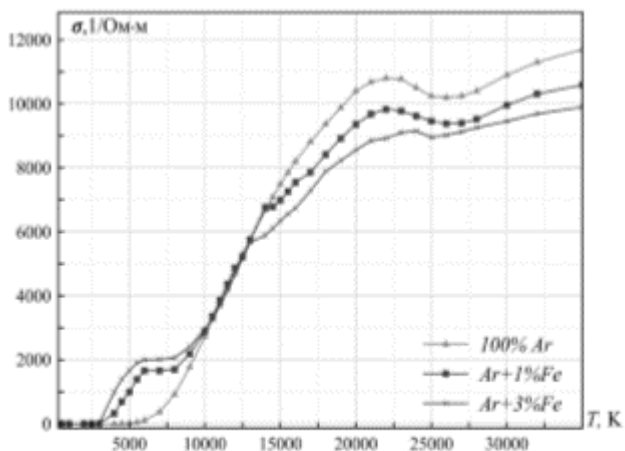


б) Теплоемкость





в) Излучение



г) Электропроводность

Рисунок 2. Коэффициенты аргона с различной концентрацией паров железа

Коэффициент поверхностного натяжения стали определяется по формуле, данной в работе [3, с. 157]:

$$\alpha = \alpha_{plav} - A_{plav}(T - T_{plav})$$

где  $\alpha_{plav} = 1.862 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  – поверхностное натяжение железа при температуре плавления, коэффициент,  $A_{plav} = 3.9 * 10^{-4} \frac{\text{Н}}{\text{м} * \text{К}}$ .

При расчетах использованы следующие данные:

Температура плавления стали  $T_{plav} = 2783\text{K}$

Температура кипения стали  $T_{boi} = 3133\text{K}$

Удельная теплота плавления  $\Delta H_f = 2,47 * 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Молярный вес аргона  $M_1 = 55 * 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$

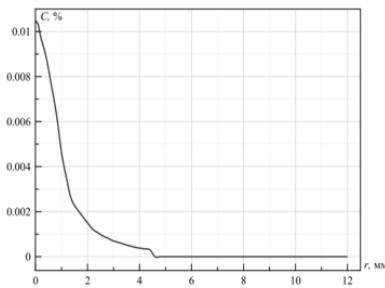
Молярный вес стали  $M_2 = 27 * 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$

Удельная теплота испарения стали  $h_{fg} = 6259,5 * 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

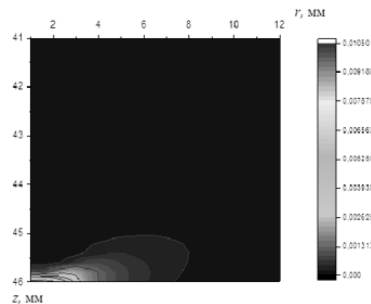
Постоянная стали  $A_v = 2,52$

Молярная теплота испарения стали  $H_{vap} = 340 * 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$

Расчеты проводились для силы тока  $I=150\text{A}$  и  $200\text{A}$ . Для силы тока в  $150\text{A}$  максимальная концентрация паров железа на поверхности сварочной ванны исходя из граничного условия составила  $0,6\%$ , что практически не влияет на транспортные коэффициенты аргоновой дуги.



а) на поверхности анода

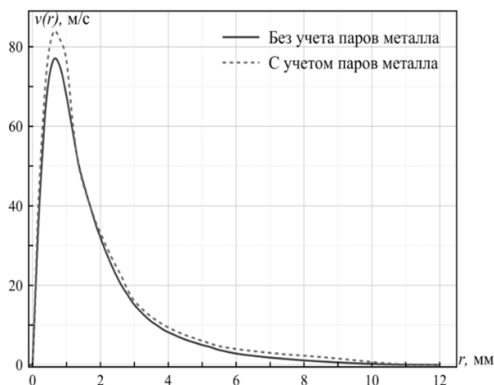


б) в столбе электрической дуги

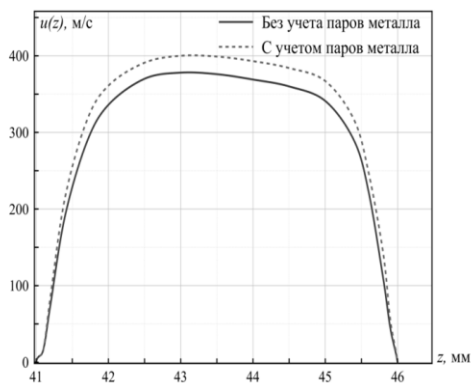
**Рисунок 3. Распределение концентрации паров Fe**

На рисунке 3 представлены графики распределения концентрации паров железа на поверхности анода и в объеме электрической дуги при силе тока  $I=200\text{A}$ . Максимальная концентрация паров железа при силе тока в  $200\text{A}$  составляет  $1,05\%$  на оси дуги. Распределение концентрации паров металла определяется конвективными и диффузионными потоками. Аксиальные скорости потока газа, направленные к аноду в 5 раз выше радиальных скоростей над

поверхностью анода (рис. 4–рис. 5), поэтому пары металла в приосевой части сосредоточены в основном у поверхности анода, а расширение области паров металла происходит за пределами оси дуги.



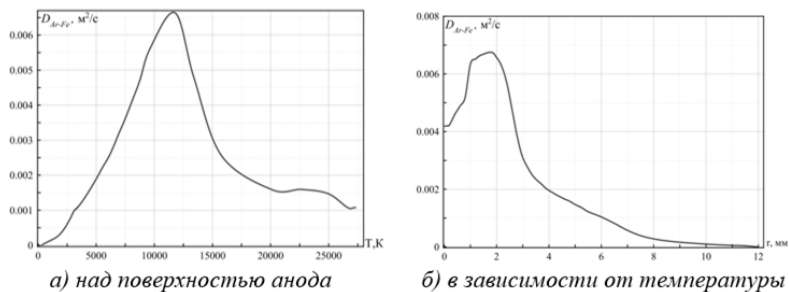
**Рисунок 4. Распределение радиальной скорости над поверхностью анода**



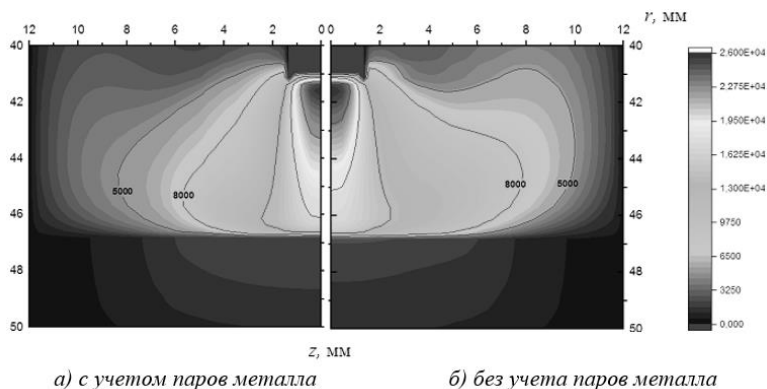
**Рисунок 5. Осевая аксиальная скорость в столбе электрической дуги**

Также, это связано с характером коэффициента диффузии (рис. 6а), максимальное значение которого приходится на периферию ядра дуги, где атомы металла легче диффундируют в область электрической дуги. Таким образом, в приосевой части конвекция

является доминирующей, поэтому пары металла вовлекаются в радиальное движение потоков газа и растекаются над поверхностью анода. Общая зависимость коэффициента диффузии от температуры показана на рис. 6б.



**Рисунок 4. Распределение коэффициента диффузии**



**Рисунок 5. Изотермы столба электрической дуги,  $I=200$  А**

На рис. 5 представлены изолинии температур без учета и с учетом паров металла в аргоновой плазме при силе тока  $I=200$  А. Присутствие паров металла в прианодной части поджимают радиально дугу, охлаждая столб дуги по ее краям и нагревая ядро дуги. Это объясняется тем, что коэффициент излучения для смеси аргона с парами металла заметно выше в интервале температур от 5000 до 13000 К, что приводит к увеличению радиационных потерь в данном интервале и сужению дуги. Следующим механизмом

охлаждения дуги на периферии является увеличение теплопроводности при температурах ниже 8000 К, вызванное большей термической диффузией в окрестностях дуговой плазмы. Данное явление охлаждения дуги при наличии паров металла согласуется с экспериментальными и теоретическими результатами работы [4, с. 883].

На рис. 6 представлен тепловой поток от столба электрической дуги на анод для обоих случаев. Несмотря на то, что температура ядра дуги выше для аргона с парами металла, тепловой поток в сторону анода выше для чистого аргона, что обусловлено более высоким коэффициентом теплопроводности в этом диапазоне температур. Таким образом, температура поверхности сварочной ванны в присутствии паров металла понижается (рис. 7)

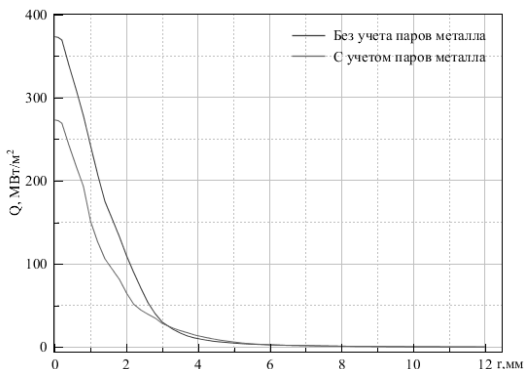


Рисунок 6. Тепловой поток на анод

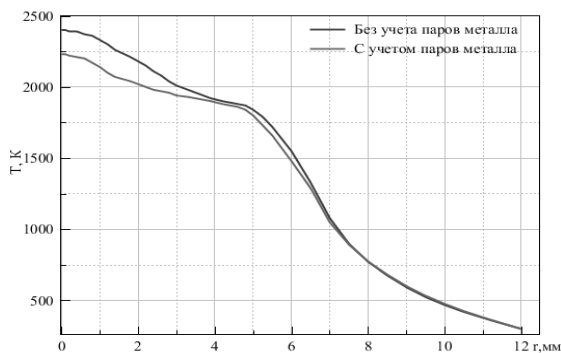
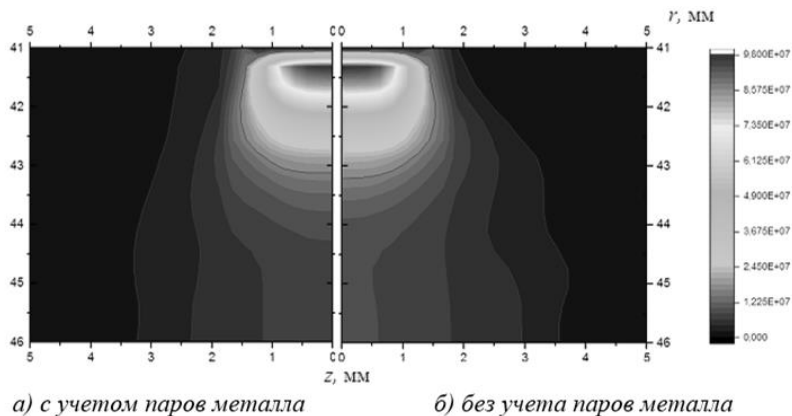


Рисунок 7. Температура поверхности анода

На рис. 8 представлены графики плотности тока в столбе дуги. Плотность тока на поверхности анода в присутствии паров железа уменьшается, это вызвано тем, что наличие паров увеличивает электропроводность при температурах ниже 10000 К, и электрический ток течет в более холодных областях дуги. Изменение электропроводности смеси аргона и паров металла в прианодной части формируется двумя механизмами. С одной стороны, присутствие паров железа должно увеличить электропроводность плазмы. С другой стороны, охлаждение дуги, вызванное более высокими радиационными потерями и увеличением теплопроводности в периферийной части, приводит к уменьшению общей электропроводности смеси. В итоге, вклад электромагнитной составляющей на проплавляющую способность дуги уменьшается.



**Рисунок 8. Линии плотности тока в столбе электрической дуги,  $I=200$  А**

### Список литературы:

1. Энгельшт В.С. Математическое моделирование электрической дуги. Фрунзе: Илим,1983. – с. 363.
2. Barrett J., Clement C. Kinetic evaporation and condensation rates and their coefficients. // Journal of Colloid and Interface Science. 1992. Vol. 150.
3. Keene B.J. Review of data for the surface tension of pure metals. //International Materials Reviews. – 1993. – Vol. 38. – № 4.
4. Lag-Lago F., Gonzalez J.J., Freton P., Gleizes A. A numerical modelling of an electric arc and its interaction with the anode: Part I. The two-dimensional model. // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2004. – Vol. 37. – № 6.

5. Menart J., Lin L. Numerical study of a free-burning argon arc with copper contamination from the anode. // Plasma Chem. and Plasma Process. – 1999. – Vol. 19. – № 2.
6. Schnick M., Fuessel U., Hertel M., Haessler M., Spille-Kohoff A., Murphy A.B. Modelling of gas-metal arc welding taking into account metal vapour. //Journal of Physics D: Applied Physics. 2010. Vol. 43.
7. Wilke C.R. A viscosity equation for gas mixtures. The Journal of Chemical Physics. – 1950. – Vol. 18. – № 4.
8. Yamamoto K., Tanaka M., Tashiro S., Nakata K., Murphy A.B. Numerical Simulation of metal vapor behavior in argon TIG welding. Transactions of JWRI, – 2007. – V. 36. – № 2.
9. Zacharia T., David S.A., Vitek J.M. Effect of evaporation and temperature – dependent material properties on weld pool development. // Metall. Trans. 1991.Vol. 22B.

## **УПРАВЛЕНИЕ ГАМИЛЬТОНОВОЙ СИСТЕМОЙ С УЧЕТОМ ВОЗМУЩЕНИЙ**

***Королев Владимир Степанович***

*канд. физ.-мат. наук, доцент,  
Санкт-Петербургский государственный университет,  
РФ, г. Санкт-Петербург,  
E-mail: [yokorol@bk.ru](mailto:yokorol@bk.ru)*

***Новоселов Виктор Сергеевич***

*д-р физ.-мат. наук, профессор  
Санкт-Петербургский государственный университет,  
РФ, г. Санкт-Петербург,  
E-mail: [novoselov@apmath.spbu.ru](mailto:novoselov@apmath.spbu.ru)*

## CONTROLS OF THE HAMILTONIAN SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT THE PERTURBATIONS

**Vladimir Korolev**

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, assistant professor,  
Saint-Petersburg State University,  
Russia, Saint-Petersburg*

**Viktor Novoselov**

*doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor,  
Saint-Petersburg State University,  
Russia, Saint-Petersburg*

### АННОТАЦИЯ

Уравнения движения механических систем во многих задачах содержат систему обыкновенных дифференциальных уравнений, которые можно записать в канонической форме, чтобы получить дополнительные возможности исследования или решения. Рассматриваются преобразования уравнений движения космических аппаратов в гравитационном поле с учетом возмущений.

### ABSTRACT

Equations of motion of mechanical systems in many applications have a system of ordinary differential equations that can be written in the canonical form to obtain additional research and solution. Transformations of the equations of the spacecraft motion in the gravitational field with account the perturbation are considered.

**Ключевые слова:** аналитическая и небесная механика; космическая динамика; теория управления; канонические уравнения Гамильтона.

**Keywords:** analytical and celestial mechanics; space dynamics; theory of control; canonical equations of Hamilton.

Уравнения движения механических систем во многих задачах содержат систему обыкновенных дифференциальных уравнений, которые можно записать в канонической форме, чтобы получить дополнительные возможности исследования или решения.

Систему уравнений динамики, которые должны выполняться [1; 4–7] на допустимом или оптимальном решении в задачах управления



$$\dot{x} = F(x, u, t), \quad x \in C^2, \quad F \in C^1, \quad F'_x \in C^1, \quad (1)$$

при выбранных управлениях в виде функций времени  $u_1(t), \dots, u_k(t)$  можно представить системой в форме канонических уравнений Гамильтона для вектора фазовых переменных  $x_1(t), \dots, x_{2n}(t)$ , если правые части выражаются через частные производные функции Гамильтона  $H_0(x, u, t)$

$$\begin{aligned} \dot{x}_k &= \frac{\partial H_0}{\partial x_{k+n}} = F_k(x, u, t), \\ \dot{x}_{k+n} &= -\frac{\partial H_0}{\partial x_k} = F_{k+n}(x, u, t), \quad k = 1, \dots, 2n. \end{aligned} \quad (2)$$

При этом задачи оптимального управления для механических систем приводятся к сложным нелинейным уравнениям необходимых условий экстремума для условного функционала в расширенном пространстве допустимых траекторий, который в постановке Больца имеет вид

$$V = \int_{t_u}^{t_k} L(x, \dot{x}, \lambda, u, t) dt + \Phi(x^H, x^K, t_H, t_K), \quad (3)$$

Для подынтегральной функции  $L = F_0 + \lambda(\dot{x} - F)$  были введены дополнительные функции  $\lambda(t)$ , которые называют множителями Лагранжа. Вариация условного функционала (3) для критерия качества с использованием функции Понтрягина

$$H(x, \lambda, u, t) = -F_0 + \lambda F, \quad (4)$$

для задачи управления дает набор уравнений следующих необходимых условий стационарности:

- уравнения движения в виде

$$\dot{x}_i = \frac{\partial H}{\partial \lambda_i} = F_i, \quad i = 1, \dots, 2n, \quad (5)$$

- уравнения Эйлера–Лагранжа

$$\dot{\lambda}_i = -\frac{\partial H}{\partial x_i} = \frac{\partial F_0}{\partial x_i} - \sum_{k=1}^n \lambda_k \frac{\partial F_k}{\partial x_i}, \quad (6)$$

- общее условие трансверсальности

$$(\lambda \Delta x - H \Delta t)_{t_H}^{t_K} + \Delta \Phi = 0. \quad (7)$$

Получаем систему сопряженных уравнений для вектора дополнительных переменных  $\lambda(t)$ , которые играют роль обобщенных импульсов в системе уравнений (5) и (6), имеющих вид уравнений Гамильтона (2) для функции (4) Понтрягина  $H$  условного функционала, а также условие максимума функции по управлениям

$$\frac{\partial H}{\partial u_j} = 0, \quad u_{j1} < u_j < u_{j2}. \quad (8)$$

Это справедливо в случае внутреннего экстремума по управлению. При достижении управляющих функций граничных значений должно выполняться неравенство соответствующего знака. Более общим и удобным является уравнение принципа максимума Понтрягина, которое для линейных задач используется для прямого определения значения управляющих функций.

Краевые условия трансверсальности (7) дают выражения для вариации функций в случае независимости варьируемых  $(2n+2)$  параметров или развернутые условия трансверсальности, которые должны решаться совместно с уравнениями связей для граничных значений.

Предполагаем, что функции в уравнениях с учетом возмущений содержат малый параметр, а уравнения Гамильтона (2) имеют в нулевом приближении при  $\varepsilon = 0$  общее решение, которое можно получить в специальном виде функций времени и полного набора произвольных постоянных

$$(x_1, \dots, x_{2n}) = (q_1(t, c), \dots, q_n(t, c), p_1(t, c), p_n(t, c)). \quad (9)$$

Тогда справедлива теорема [6], которая определяет решение уравнений Эйлера–Лагранжа (6), а также содержание функции Понтрягина (4) для задачи оптимизации.

**Теорема (Новоселов).** Пусть  $H_o \in C^1, (H_o)'_q \in C^1, (H_o)'_p \in C^1$ , а функция  $F_o(u, t)$  минимизируемого функционала (3) не зависит явно от  $q$  и  $p$ . Тогда общее решение уравнений Эйлера–Лагранжа будет определяться соотношениями

$$\lambda_k = -\frac{\partial p_k}{\partial c_j} C_j, \quad \lambda_{k+n} = -\frac{\partial q_k}{\partial c_j} C_j, \quad (10)$$

где  $C_j$  – новые произвольные постоянные. По дважды повторяющимся индексам выполняется суммирование от 1 до  $n$ . Функция Понтрягина в этом случае получается из выражения

$$H = -F_o - \frac{\partial H_o}{\partial c_j} C_j. \quad (11)$$

Условиям теоремы удовлетворяет участок баллистического движения космического аппарата в центральном гравитационном поле, когда кинетическая и потенциальная энергия имеют вид

$$T(\dot{q}, q) = \frac{1}{2}(\dot{r}^2 + r^2\dot{\varphi}^2), \quad \Pi(q) = \frac{\mu}{r}. \quad (12)$$

Основные критерии в задачах оптимизации движения по расходу топлива  $F_o(u) = \|u\|$  или быстродействию  $F_o(t) = 1$ . Если  $0 < u_j < u_{j2}$ , то можно рассматривать функцию в виде  $F_o(u) = \sum_j u_j$ .

Функция Гамильтона  $H_o$  равна сумме кинетической  $T(\dot{q}, q, t)$  и потенциальной энергии  $\Pi(q, t)$ , если все силы потенциальны.

Рассмотрим для описания движения в плоскости орбиты канонические переменные на основе полярных координат

$$q_1 = r, \quad q_2 = \varphi, \quad p_1 = \dot{r}, \quad p_2 = r^2\dot{\varphi}. \quad (13)$$

Выражая их через кеплеровы элементы  $c_1 = e$ ,  $c_2 = p$ ,  $c_3 = \omega$ ,  $c_4 = t_0$ , получим новые выражения

$$\begin{aligned} q_1 &= c_2(1 + c_1 \cos f), \quad q_2 = f + c_3, \\ p_1 &= \sqrt{\frac{\mu}{c_2}} c_1 \sin f, \quad p_2 = \sqrt{\frac{\mu}{c_2}}. \end{aligned} \quad (14)$$

Истинная аномалия  $f$  будет зависеть от момента  $t_0$  прохождения через перигеум орбиты и других элементов в силу интеграла площадей [7].

Преобразование необходимых условий стационарности функционала при замене переменных позволяет получить лагранжевы множители с помощью вычисления изохронных производных по соответствующим постоянным  $c_k$ . Это позволяет последовательно определить аддитивные возмущения исходных уравнений методом малого параметра Пуанкаре. Так было сделано для первого приближения [8; 9] в задаче оптимального перехода в центральном гравитационном поле.

Аналогичное построение последовательных приближений можно реализовать для уравнений ограниченной задачи трех тел, которые в результате обобщенного преобразования Биркгофа [2; 3; 10] приводятся к виду канонических уравнений для вектора регулярных элементов при увеличении размерности фазового пространства. Множество допустимых траекторий может содержать движения, близкие к соударению с главными телами, которые являются притягивающими центрами системы. Это определяет особенности уравнений движения и решений, что требует дополнительных преобразований совокупности необходимых условий экстремума.

### Список литературы:

1. Королев В.С. Определение движения навигационных спутников с учетом возмущений // Вестник С-Петербурга. Ун-та, сер.10, вып. 3, 2004. – С. 39–46.
2. Королев В.С. Асимптотические методы вычисления и оптимизации траекторий, близких к соударению // Динамика механических систем. – Томск: изд. ТГУ, 1987. – С. 174–176.
3. Королев В.С. Управление возмущенным движением в регуляризованной задаче трех тел // Вопросы механики и управления движением. – Л.: изд. ЛГУ, 1991. – С. 71–78.

4. Королев В.С. Моделирование оптимальных траекторий космических аппаратов при наличии ограничений // Управление в морских и аэрокосмических системах. – СПб.: изд. ЦНИИ «Электроприбор», 2014. – С. 446–450.
5. Королев В.С. Оптимальные траектории перехода космических аппаратов между заданными орбитами различного типа // Технические науки – от теории к практике, № 32, 2014. – Новосибирск: изд. «СибАК» – С. 62–70.
6. Королев В.С., Новоселов В.С. Аналитическая механика управляемой системы. Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ, 2005. – 298 с.
7. Новоселов В.С. Аналитическая теория оптимизации в гравитационных полях. – Л.: изд. ЛГУ, 1972. – 317 с.
8. Новоселов В.С. О слабом управлении возмущенной гамильтоновой системой // Вестник СПбГУ, сер. 1, вып. 4, 1993. – С. 66–70.
9. Новоселов В.С., Королев В.С. Об управлении возмущенной гамильтоновой системой // Труды международной конференции «Автоматика-96», т. 1, – Севастополь: изд. СевГУ, 1996. – С. 74–75.
10. Штифель Е., Шейфеле Г. Линейная и регулярная небесная механика. – М.: Наука, 1975. – 304 с.

## **УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СОСТОЯНИЙ ДВИЖЕНИЯ**

***Королев Владимир Степанович***

*канд. физ.-мат. наук, доцент,  
Санкт-Петербургский Государственный Университет,  
РФ, г. Санкт-Петербург  
E-mail: [yokorol@bk.ru](mailto:yokorol@bk.ru)*

***Потоцкая Ирина Юрьевна***

*канд. физ.-мат. наук, доцент,  
Санкт-Петербургский Государственный Университет,  
РФ, г. Санкт-Петербург  
E-mail: [irinapototskaya@yandex.ru](mailto:irinapototskaya@yandex.ru)*

## CONDITIONS STABILITY OF THE MOVEMENTS

*Vladimir Korolev*

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, assistant professor,  
Saint-Petersburg State University,  
Russia, Saint-Petersburg*

*Irina Pototskaya*

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, assistant professor,  
Saint-Petersburg State University,  
Russia, Saint-Petersburg*

### АННОТАЦИЯ

Рассматриваются математические модели динамических систем на основе нелинейных дифференциальных уравнений, свойства их решений, условия устойчивости и поведение решений в окрестности положений равновесия или стационарных состояний. При исследованиях учтено изменение устойчивости решений в зависимости от постановки задачи и преобразования уравнений, которые описывают процесс.

### ABSTRACT

We consider mathematical models of dynamic systems based on non-linear differential equations, properties of their solutions, the conditions of stability and behavior of solutions in a neighborhood of equilibrium points or stationary states. In studies into account changes in the stability of solutions depending on the problem definition and the transformation equations that describe the process.

**Ключевые слова:** динамические системы; устойчивость решений.

**Keywords:** dynamical systems; stability of solution.

### Введение.

Под динамической системой подразумевается изменение состояния процесса во времени. Если результаты наблюдений или измерений позволяют однозначно определить значения параметров системы, то говорят о детерминированных динамических системах. Если параметры или дополнительные воздействия можно выбирать по своему усмотрению, то имеют управляемую систему. Многие сложные процессы классической механики моделируются системами обыкновенных дифференциальных уравнений [1; 2]. При исследовании поведения нелинейных динамических систем важно знать

основные свойства решений: существуют ли состояния равновесия или покоя, какие из них устойчивы, возможны ли колебательные режимы движения и при каких условиях [3–6]. Равновесие определяют как состояние системы, когда одни силовые воздействия компенсируются другими или вообще отсутствуют. Состояние покоя означает сохранение положения всех элементов механической системы относительно некоторой системы отсчета [7–13; 18].

Наличие даже малых возмущений периодического или случайного характера может изменить характер решений таких систем. Поэтому поведение и свойства решений динамических систем, моделирующих управляемые процессы, определяются главным образом выбранными управляющими воздействиями [4; 6; 8]. При этом анализируется вид полученной устойчивости [9; 10] и методы исследования нелинейных непрерывных или дискретных систем, которые могут определять качество движений: абсолютная или асимптотическая устойчивость, по первому приближению или в целом.

В зависимости от начальных условий и значений коэффициентов системы уравнений в качестве отклика на приложенный импульс или серию импульсов могут проявляться устойчивые и неустойчивые колебательные режимы по соответствующим группам переменных. Каждое из возможных устойчивых положений равновесия определяет область пространства, заполненную траекториями движения системы.

#### **Определения устойчивости.**

На основе первого закона Ньютона можно определить состояние равномерного прямолинейного движения или покоя для свободной материальной точки относительно инерциальной системы координат условием, если на точку не действуют никакие силы или их векторная сумма равна нулю [2; 13; 18]

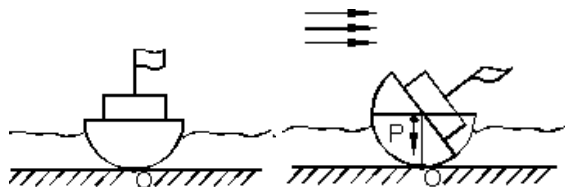
$$M\mathbf{w} = \mathbf{F} = 0. \quad (1)$$

При этом принцип относительности Галилея утверждает, что существует система отсчета, в которой материальная точка находится в состоянии покоя.

Если используется неинерциальная система отсчета, то кроме активных сил необходимо учитывать силы инерции. Когда сумма сил равна нулю, получаем в этом случае относительное положение равновесия или покоя. Если рассматривается движения несвободной материальной точки при действии ограничений, то необходимо учитывать пассивные силы реакции связей.

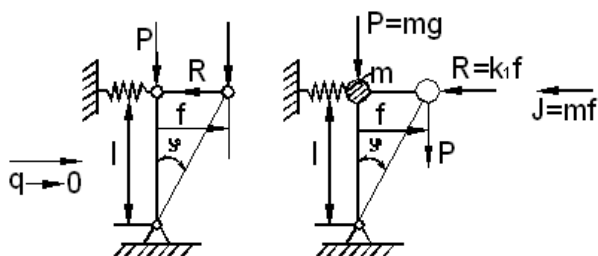
При определении движения твердого тела или произвольной механической системы кроме основных задач динамики часто требуется оценить устойчивость и управляемость состояний движения.

Одним из первых определение понятия устойчивости было дано Л. Эйлером в 1749 г. в связи с практически важным вопросом того времени устойчивости кораблей Российского флота (рис. 1): «равновесное положение тела будет устойчиво, ежели оно тело, будучи несколько наклонено, опять исправится» [8; 15].



**Рисунок 1. Устойчивость корабля по Эйлеру**

Применительно к упругим системам определение Эйлера можно сформулировать следующим образом: «равновесие в упругой системе при заданных внешних силах считается устойчивым, если после статического приложения малой возмущающей силы и последующего снятия система возвращается к своему исходному состоянию». В противном случае исходное состояние равновесия системы считается неустойчивым.



**Рисунок 2. Устойчивость упругой системы**

Другим, более общим, определением устойчивости состояния равновесия является определение Лагранжа для упругой системы (рис. 2): «исходное состояние равновесия устойчиво, если после отклонения от этого состояния она, предоставленная самой себе,



стремится вернуться к нему, совершая малые колебания, затухающие со временем при наличии сил внешнего и внутреннего сопротивления».

Строгое определение понятия устойчивости положения равновесия и других решений динамических систем было дано в 1892 г. русским ученым А.М. Ляпуновым [11].

Движение или поведение решения динамической системы называется устойчивым по Ляпунову, если малые отклонения в начальных данных фазовых переменных от опорного, выбранного для исследования, решения системы дифференциальных уравнений приводят к малым отклонениям в дальнейшем. Если отклонение со временем стремится к нулю, то опорное решение называют асимптотически устойчивым.

Устойчивость определяют по Эйлеру, Лагранжу, Ляпунову, Пуанкаре, Жуковскому или Красовскому, а также рассматривается орбитальная устойчивость траекторий или устойчивость по части переменных [3; 5; 17; 19]. В последнем случае оказывается, что фазовая траектория или её проекция на соответствующее подпространство остается в достаточной близости от опорной траектории, хотя изображающие точки могут сколь угодно разбегаться, удаляясь друг от друга со временем.

В механике устойчивость характеризуется реакцией на достаточно малое отклонение в начальных данных или возмущение действующих сил для системы, находящейся в равновесии. Устойчивость – способность системы сохранять текущее состояние равновесия или движения при влиянии внешних малых воздействий. Под неустойчивостью понимают способность систем при действии весьма малых возмущений получать большие перемещения или менять характер движения. Процесс считается неустойчивым, если сколь угодно малое возмущение вызывает катастрофическое развитие перемещений и деформаций. Катастрофа наступает в точках, которые называют точками бифуркации Пуанкаре или пределами устойчивости.

Наглядным примером устойчивого состояния равновесия служит поведение тяжёлого шарика на гладкой поверхности в зависимости от формы и свойств в окрестности текущего положения.

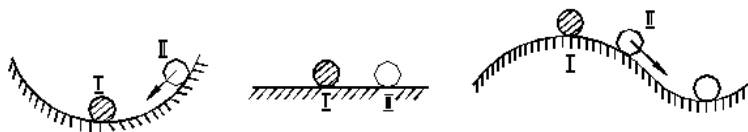


Рисунок 3. Устойчивость по Лагранжу

Если шарик отклонить из положения покоя и он начнет колебаться около нижнего положения в ямке, то состояние равновесия устойчиво. В противном случае – неустойчиво. В том числе возможно безразличное положение шарика на идеально гладкой горизонтальной плоскости (рис. 3), которое не является устойчивым, если начальное значение скорости отличается от нуля.

Из теоремы Лагранжа-Дирихле следует, что положение равновесия для механической системы в однородном поле тяжести будет устойчивым, когда центр тяжести системы занимает самое низшее положение.

Система называется устойчивой, если при выведении ее внешними воздействиями из состояния равновесия или покоя она в него возвращается после прекращения внешних воздействий при условии, что механическая система не испытывает катастрофических деформаций. Если после прекращения внешнего воздействия система не возвращается к состоянию равновесия, то она является неустойчивой.

Однако в реальных механических системах всегда существуют силы сопротивления движению, возникающие благодаря трению или вязкости среды. Устойчивое положение равновесия становится асимптотически устойчивым при добавлении диссипативных сил с полной диссипацией. Такие силы не могут неустойчивое положение равновесия сделать для консервативной системы устойчивым.

#### **Критерии устойчивости.**

В общем случае системы дифференциальных уравнений динамики системы в нормальной форме имеют особые точки положения покоя или состояния равновесия при условии, что правые части обращаются в ноль:

$$\frac{dx}{dt} = f(x), x \in R^n, \quad f(x^*) = 0. \quad (2)$$

Существуют различные критерии устойчивости, в том числе критерии Рауса и Гурвица, Найквиста и Михайлова, метод Тимошенко, метод Кармана, метод функций Ляпунова или простого экспериментального тестирования. Однако этими критериями пользоваться во многих случаях практически сложно из-за необходимости проведения громоздких расчётов. Изменения свойств и также условий устойчивости решений возможны при переходе к новой системе уравнений при замене переменных [6; 14].

Свойство траектории или решения  $x(t)$  автономной системы обыкновенных дифференциальных уравнений называется орбитальной устойчивостью, если для всякого  $\varepsilon > 0$  существует  $d > 0$  такое, что всякая положительная полутраектория, начинающаяся в  $d$ -окрестности траектории  $x(t)$  при  $t = t_0$ , содержится в  $\varepsilon$  – окрестности траектории. Здесь под траекторией понимается множество значений решения  $x(t)$ , а под положительной полутраекторией – множество значений решения  $x(t)$  при  $t = t_0$ . Если решение  $x(t)$  устойчиво по Ляпунову, то его траектория орбитально устойчива.

Траектория  $x(t)$  называется асимптотически орбитально устойчивой, если она орбитально устойчива и, кроме того, найдется  $d_0 > 0$  такое, что траектория всякого решения  $x(t)$  системы (2), начинающегося в  $d_0$ -окрестности траектории (то есть при  $|x(0) - x(t)| < d_0$ ) стремится при  $t \rightarrow 0$  к траектории  $x(t)$ .

Периодическое решение системы (2) не бывает асимптотически устойчивым. Но если у периодического решения такой системы модули всех мультипликаторов, кроме одного, меньше единицы, то траектория этого периодического решения, согласно теореме Андронова–Витта [1], асимптотически орбитально устойчива.

Уравнения Лагранжа второго рода для консервативных механических систем позволяют использовать для оценки устойчивости вид функции  $P(q)$  для потенциальной энергии. Положения равновесия или возможного положения покоя находится из условий минимума по лагранжевым или обобщенным переменным:

$$\frac{\partial P}{\partial q_i} = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (3)$$

Матрица вторых частных производных, которая вычисляется в положении равновесия, используется для оценки устойчивости. Для системы с одной степенью свободы требуется определить знак второй производной  $P(x)$  и выделить точки минимума.

При наличии  $k$  циклических интегралов порядок системы уравнений уменьшается. Получается система уравнений с функцией Рауса  $R(q)$ , а устойчивость оценивают для оставшихся обобщенных координат.

$$\frac{\partial R}{\partial q_i} = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, n - k). \quad (4)$$

При этом обобщенные импульсы, соответствующие циклическим координатам, остаются постоянными  $p_i = \text{const}$  и определяют стационарные движения системы, которые могут иметь устойчивость или в режиме автоколебаний даже асимптотическую устойчивость.

Постановка задачи об устойчивости движения относительно части переменных принадлежит А.М. Ляпунову [12]. При исследовании одного из критических случаев Ляпунов отметил, что «можно рассматривать более общую задачу: об устойчивости того же движения, но по отношению не ко всем, а только к некоторым из величин». Однако сам Ляпунов данной задачей не занимался. На замечание А.М. Ляпунова обратил внимание И.Г. Малкин [7], указавший некоторые условия на случай устойчивости по части переменных.

Устойчивостью по отношению к части переменных для дифференциальных уравнений занимался В.В. Румянцев, который напечатал статью [17] по аналогу теорем второго метода Ляпунова для задач устойчивости по части переменных. Он со своими учениками разработал методы исследования задачи устойчивости по части переменных.

В случае приведения уравнений к виду канонических систем можно проверять аналогичные условия для функции Гамильтона  $H(x)$ , которая при дифференцировании по фазовым переменным определяет все правые части уравнений движения.

Необходимо обратить внимание на возможные изменения свойств и условий устойчивости решений новых уравнений при замене переменных.

В случае контактных преобразований канонических уравнений при выборе для замены координат нужной производящей функции получаем в новых переменных  $(q, p)$  уравнения, где правые части равны нулю, а новые переменные определяют набор произвольных постоянных для решений первоначальной системы канонических уравнений [14]. Следовательно, при любых допустимых отклонениях в начальных условиях они остаются постоянными, сохраняя малые начальные отклонения.

Если уравнения динамики системы записаны в каноническом виде и существует  $n$  первых интегралов, то по теореме Арнольда [2; 6] все фазовые траектории лежат на  $n$ -мерном торе, а движение системы

является условно периодическим. В общем случае для системы дифференциальных уравнений в нормальной форме могут выполняться первые интегралы, которые определяют интегральные многообразия как пересечение соответствующих поверхностей. Это множество называют равновесным или стационарным режимом движения системы.

Вопрос об устойчивости является одним из первых вопросов, возникающих при исследовании и проектировании систем управления. Наличие возмущений и управляющих воздействий может также влиять на свойства положений равновесия и возможные стационарные состояния. Для исследования этого влияния в математических моделях предлагаются модификации [6; 16] или дополнения, упрощающие оценку устойчивости выделенных решений.

### **Примеры устойчивости состояний равновесия.**

Наличие многих определений и критериев устойчивости может приводить к затруднениям или неправильно их использованию.

Наиболее просто и наглядно методы исследования устойчивости решений демонстрируются на примере системы дифференциальных уравнений математического маятника при движении в вертикальной плоскости при действии силы тяжести:

$$ml \ddot{\phi} = -mg \sin \phi, \quad \ddot{\phi} + \omega^2 \sin \phi = 0, \quad \omega^2 = g / l. \quad (5)$$

Потенциальная энергия задачи может иметь вид  $\Pi(\varphi) = -\omega^2 \cos \varphi$ . Это позволяет получить фазовые траектории с помощью интеграла энергии.

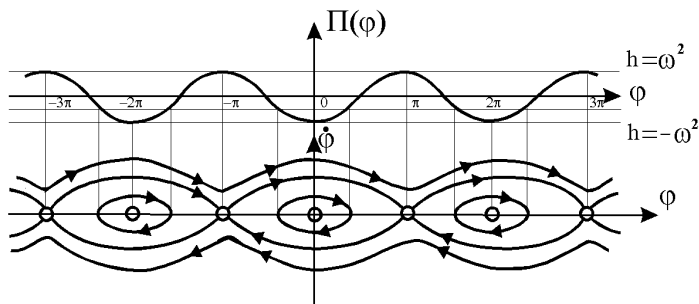
Получаются особые точки, которые на фазовой плоскости окружают замкнутые кривые периодических колебаний. Находим состояния равновесия, равные значениям угла  $\varphi = 2k\pi$ , которым отвечают устойчивые положения в точках минимума, или  $\varphi = (2k + 1)\pi$ , которым соответствуют неустойчивые положения.

Если ограничиваться линейным приближением, то уравнение превращается в уравнение гармонических колебаний или гармонического осциллятора

$$\ddot{\varphi} + \omega^2 \varphi = 0. \quad (6)$$

Период линейного приближения не зависит от начальных условий. Поэтому малые колебания математического маятника будут изохронными.

$$\varphi = C_1 \cos(\omega t) + C_2 \sin(\omega t). \quad (7)$$



**Рисунок 4. Фазовый портрет для математического маятника**

Движение механической системы или положение покоя относительно неинерциальной системы отсчета учитывает силы инерции. Для случая движения материальной точки по направляющей, которая вращается с постоянной угловой скоростью  $p = \text{const}$  вокруг вертикальной оси, получаем

$$\ddot{\phi} = -\omega^2 \sin \phi + p^2 \cos \phi \sin \phi. \quad (8)$$

При наличии малых отклонений от положения относительного покоя или при действии возмущений и управлений система уравнений имеет вид:

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = -\omega^2 x_1 + \varepsilon f(u, t), \quad (9)$$

тогда решение представляет сумму общего решения однородного и частного решения неоднородного уравнения с учетом возмущений:

$$x_1 = a \sin(\omega t + \alpha) + \varepsilon x_1^*, \quad x_2 = a \omega \cos(\omega t + \alpha) + \varepsilon x_2^*. \quad (10)$$

Для случая свободного движения материальной точки в однородном поле силы тяжести по поверхности сферы без учета действия других сил получим при использовании сферических координат систему уравнений:

$$\begin{aligned} \ddot{\phi} &= -\omega^2 \sin \phi + \dot{\psi}^2 \cos \phi \sin \phi, \\ \dot{\psi} \sin^2 \phi &= p. \end{aligned} \quad (11)$$

Циклический интеграл определяет изменение угловой скорости  $\dot{\psi} = f(\phi)$  при отклонении от вертикали, хотя траектория остается близкой к начальной. Получаем орбитальную устойчивость движения точки или устойчивость по части переменных.

В механической системе существуют силы сопротивления движению, возникающие благодаря трению или вязкости среды [8]. Такие силы называют *диссипативными*.

**Теорема (Кельвин)** утверждает: *Диссипативные силы с полной диссипацией делают устойчивое положение равновесия или точки покоя асимптотически устойчивыми.*

Малые колебания для стационарного движения в окрестности устойчивого относительного положения равновесия также могут быть устойчивыми решениями (в некоторой области) для системы уравнений, но к ним нельзя применить теорему Кельвина.

**Теорема (Королев).** *Диссипативные силы делают устойчивое стационарное движение в окрестности устойчивого относительного положения равновесия или стационарного движения системы неустойчивым.*

Особенностью системы уравнений является существование первых интегралов, которые позволяют понизить порядок или проводить дальнейшее исследование устойчивости по упрощенным уравнениям для оставшихся фазовых переменных после исключения. Это позволяет получить критерии условной устойчивости по части переменных [3; 7; 17] для начальной системы, а также критерии устойчивости для упрощенной системы в первом приближении.

#### **Примеры устойчивости по части переменных.**

Если уравнения динамики системы записаны в каноническом виде и существует  $k$  первых интегралов, то по теореме Арнольда [6; 7; 19; 20] фазовые траектории лежат на  $k$  – мерном многообразии. Движение системы является условно периодическим. В общем случае для системы дифференциальных уравнений в нормальной форме могут выполняться первые интегралы, которые определяют интегральные многообразия как пересечение соответст-

вующих поверхностей. Это множество называют равновесным или стационарным режимом системы.

Наличие возмущений и управляющих воздействий может также влиять на свойства положений равновесия и возможные стационарные равновесные состояния. Известны математические модели [2; 6; 16] в задачах взаимодействия видов Лотки или Вольтера:

$$\frac{dx}{dt} = ax - bxy, \quad \frac{dy}{dt} = -cy + hxy. \quad (12)$$

Система имеет два стационарных решения. В том числе получается особая точка, которую на фазовой плоскости окружают замкнутые кривые периодических колебаний численности конкурирующих видов в зависимости от параметров системы и начальных условий. Модификацию модели с учетом самоограничения численности, которую предложил Базыкин, можно представить в виде системы уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = ax - bx^2 + f(x, y, u), \quad \frac{dy}{dt} = -cy - hy^2 + g(x, y, u). \quad (13)$$

Начало координат является особой точкой типа «неустойчивый узел». Существуют еще три варианта возможных особых точек. Для учета влияния возмущений или управлений предлагаются модификации и дополнения, упрощающие оценку устойчивости выделенных решений. В зависимости от начальных условий и значений коэффициентов уравнений могут проявляться устойчивые или неустойчивые колебательные режимы.

Уравнения можно представить в общем виде, где возмущения зависят от управляющих параметров или функций  $u(t)$ . В правой части системы нелинейных уравнений можно выделить линейную и квадратичную зависимость от фазовых переменных:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + (x, Bx) + f(x, u, t). \quad (14)$$

Особенностью задачи является существование линейных по фазовым переменным интегралов, которые позволяют понизить порядок и проводить дальнейшее исследование устойчивости по упрощенным уравнениям для оставшихся после исключения фазовых переменных. Каждое из возможных положений равновесия



определяет подпространство, заполненное асимптотически устойчивыми движениями системы. Это позволяет получить критерии условной устойчивости для начальной системы.

### **Стационарные вращения твердого тела.**

Уравнения Эйлера вращения твердого тела с неподвижной точкой  $C$  в классическом случае, когда она совпадает с центром масс, имеют первые интегралы [14; 18] сохранения энергии

$$T = G_x^2 I_x^{-1} + G_y^2 I_y^{-1} + G_z^2 I_z^{-1} = 2h \quad (15)$$

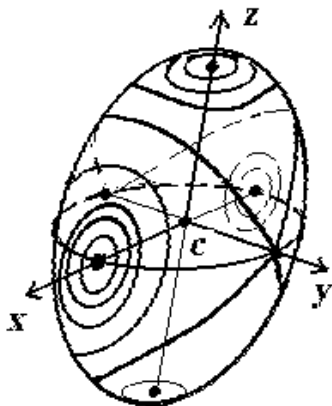
и модуля кинетического момента

$$G_x^2 + G_y^2 + G_z^2 = G^2 \quad (16)$$

показывают, что имеются три варианта установившихся движений в виде стационарных вращений относительно трех главных осей эллипсоида инерции, когда две компоненты угловой скорости равны нулю, а третья – постоянна [14]. Если моменты инерции тела различны  $I_x > I_y > I_z$ , то можно отметить фазовые траектории на поверхности так называемого гирационного эллипсоида на основе уравнения (15), которые получаются при его пересечении со сферой (16), радиус которой определяет модуль кинетического момента из начальных условий.

При малом изменении начальных условий, отвечающих частным случаям вращения тела относительно осей  $Cx$  и  $Cz$ , фазовые траектории будут замкнутыми кривыми, охватывающими соответствующую ось (рис. 5). Это показывает устойчивость стационарных вращений. Третий случай вращения относительно оси  $Cy$  показывает неустойчивость по Ляпунову так как фазовые траектории становятся незамкнутой и происходит большое отклонение оси вращения тела.

Во многих работах для задач динамики проводится исследование устойчивости по первому приближению для системы нелинейных уравнений, когда выделяют линейную часть при разложении функций по степеням малых отклонений от положения равновесия или вариаций переменных и затем отбрасывают слагаемые более высокого порядка малости. Решение или анализ системы первого приближения позволяет оценить устойчивость решений исходной системы уравнений или определить основные свойства.



*Рисунок 5. Фазовый портрет вращения тела*

Например, устойчивость вертикального положения оси «спящего волчка» для случая Лагранжа вращения твердого тела с неподвижной точкой, когда она находится на оси динамической симметрии ниже центра масс, при исследовании уравнений в первом приближении [14] позволяет получить достаточные условия устойчивости.

С течением времени в результате диссипации энергии при действии сил трения или сопротивления атмосферы кинетический момент уменьшается, условие перестает выполняться и «волчок просыпается». Происходит отклонение оси вращения от вертикали и стационарное движение становится неустойчивым.

Эффективным средством исследования устойчивости решений для многих задач динамики остается прямой метод функций Ляпунова, который можно дополнять алгебраическим или геометрическим аппаратом, а также второй метод Ляпунова. Это находит применение в актуальных задачах стабилизации или управления для линейных или нелинейных нестационарных систем.

### **Список литературы:**

1. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. – М., 1959.
2. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. – М.: Наука. 1979. – 432 с.
3. Воротников В.И. К теории устойчивости по отношению к части переменных // Прикладная математика и механика. – Т. 59(4), – 1995, – с. 553–561.

4. Гелиг А.Х., Зубер И.Е., Чурилов А.Н. Устойчивость и стабилизация нелинейных систем. – СПб.: изд. СПбГУ, 2006. – 270 с.
5. Зубов В.И. Процессы управления и устойчивость. – СПб: Изд-во СПбГУ, 1999. – 325 с.
6. Зубов И.В. Методы анализа динамики управляемых систем. – М.: Физматлит, 2003. – 224 с.
7. Королев В.С. Устойчивость решений динамических систем по части переменных // Естественные и математические науки в современном мире. № 6 (18). Новосибирск: изд. «СибАК», 2014, – с. 14–22.
8. Королев В.С. Вопросы устойчивости положений равновесия // Естественные и математические науки в современном мире. № 24. Новосибирск: изд. «СибАК», 2014, – с. 13–20.
9. Леонов Г.А. Странные аттракторы и классическая теория устойчивости движения. – СПб.: изд. СПбГУ, 2004. – 144 с.
10. Леонов Г.А., Пономаренко Д.В. Критерии орбитальной устойчивости траекторий динамических систем. // Известия ВУЗов. Математика, – 1993, – № 4, – с. 88–94.
11. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. – М.: Изд-во: «Меркурий-Пресс», 2000. – 386 с.
12. Ляпунов А.М. Исследование одного из особенных случаев задачи об устойчивости движения // Собрание сочинений, т. 2. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956, – с. 272–331.
13. Маркеев А.П. Теоретическая механика. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 512 с.
14. Новоселов В.С., Королев В.С. Аналитическая механика управляемой системы. – СПб.: изд. СПбГУ, 2005. – 298 с.
15. Поляхова Е.Н., Королев В.С., Холшевников К.В. Переводы трудов классиков науки академиком А.Н. Крыловым // Естественные и математические науки в современном мире. – № 27, – 2015, – с. 108–128.
16. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическое моделирование в биофизике. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 472 с.
17. Румянцев В.В. Об устойчивости движения по отношению к части переменных. // Вестник МГУ. Серия мат., мех., физ., астрон., хим., – № 4, – 1957, – с. 9–16.
18. Четаев Н.Г. Устойчивость движения. – М: Гостехиздат, 1955. – 207 с.
19. Korolev V.S., Pototskaya I.Yu. Integration of dynamical systems and stability of solution on a part of the variables. Applied Mathematical Sciences, – vol. 9, – № 15, – 2015. – P. 721–728.
20. Korolev V.S., Pototskaya I.Yu. Problems of stability with respect to a part of variables // International Conference on Mechanics, Seventh Polyakhov's Reading, 2015. – P. 1–4.

**УПРАВЛЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНОГО  
ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА  
В ОКРЕСТНОСТИ РЕЗОНАНСА ПРИ СПУСКЕ  
В АТМОСФЕРЕ ВЕНЕРЫ**

*Любимов Владислав Васильевич*

*д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой высшей математики,  
Самарский Государственный Аэрокосмический Университет,  
РФ, г. Самара  
E-mail: [vlubimov@mail.ru](mailto:vlubimov@mail.ru)*

*Лашин Вячеслав Сергеевич*

*аспирант,  
Самарский Государственный Аэрокосмический Университет,  
РФ, г. Самара  
E-mail: [glory665@mail.ru](mailto:glory665@mail.ru)*

**CONTROL AND SIMULATION OF A RANDOM MOTION  
OF THE SPACECRAFT IN THE VICINITY  
OF THE RESONANCE AT THE DESCENT  
IN VENUS ATMOSPHERE**

*Vladislav Lyubimov*

*associate professor, doctor of technical sciences, Head of the Chair  
of Higher Mathematics, Samara State Aerospace University,  
Russia, Samara*

*Vyacheslav Lashin*

*postgraduate student, Samara State Aerospace University,  
Russia, Samara*

**АННОТАЦИЯ**

Рассматривается спуск космического аппарата с малой инерционной и аэродинамической асимметрией в атмосфере Венеры. Исследуется случайный характер вращательного движения космического аппарата в окрестности главного резонанса при малых углах атаки. Показывается, что применение двух разных законов управления величиной инерционной асимметрии обеспечивает гарантированный

проход через резонанс. Приводится условие гарантированного прохода через резонанс.

### ABSTRACT

We consider the descent of the spacecraft with a small inertial and aerodynamic asymmetry in the atmosphere of Venus. We study the random nature of the rotational motion of the spacecraft in the vicinity of the main resonance at small angles of attack. Recorded the condition of the guaranteed passage through resonance. It is shown that the application of the two different laws control the amount of inertial asymmetry provides a guaranteed passage through resonance.

**Ключевые слова:** твердое тело; космический аппарат; атмосфера; резонанс; вероятность захвата; асимметрия; угловая скорость; угол атаки.

**Keywords:** solid; spacecraft; atmosphere; resonance; probability of capture; asymmetry; angular velocity; angle of attack.

При отделении от базового космического аппарата спускаемому аппарату передается небольшое значение кинетического момента [1]. Это приводит к появлению малой начальной угловой скорости, которую имеет спускаемый аппарат при входе в плотные слои атмосферы. Известно, что наличие асимметрии у спускаемого аппарата может привести к реализации различных резонансных явлений, способных явиться причиной различных аварийных ситуаций. Кроме непосредственно длительных резонансов моменты от асимметрии могут быть причиной аварийных ситуаций, вызванных реализацией вторичных резонансных эффектов [2–4].

Начальные условия движения на сепаратрисе, отделяющей область вращения от области резонансных колебаний, расположены случайным образом. В связи с этим возникает задача о нахождении вероятности захвата системы в резонансную область [5].

Рассмотрим движение космического аппарата в атмосфере Венеры как твердого тела конической формы с малой инерционной и аэродинамической асимметриями при малых углах атаки. Квазилинейная система уравнений движения асимметричного космического аппарата относительно центра масс, полученная посредством известного подхода [6], имеет вид:

$$\frac{d\omega_x}{dt} = \varepsilon \frac{m^\Delta \omega_{1,2}^2 \alpha^2}{I_x} \sin(2\theta + 2\theta_4), \quad (1)$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = \mp \varepsilon \frac{m^A \omega_{1,2} \alpha}{2\omega_a} [2\omega_x - \omega_{1,2}] \sin(2\theta + 2\theta_4) \mp \varepsilon \frac{m^A}{2\omega_a} \cos(\theta + \theta_1) - \varepsilon \frac{\omega \alpha}{2\omega_a^2} \frac{d\omega}{dt}, \quad (2)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_x - \omega_{1,2} \pm \varepsilon \frac{m^A}{2\alpha\omega_a} \sin(\theta + \theta_1) \pm \varepsilon \frac{m^A \omega_{1,2}}{2\omega_a} [2\omega_x - \omega_{1,2}] \cos(2\theta + 2\theta_4), \quad (3)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \varepsilon \frac{\omega}{2q} \frac{dq}{dt}. \quad (4)$$

Здесь  $\theta = \varphi - \pi/2$ ,  $\omega_x$  - угловая скорость тела относительно связанной с телом оси X,  $\alpha$  - угол атаки,  $\varphi$  - угол аэродинамического крена,  $\omega$  - известная функция переменных движения центра масс,

$$m^A = \sqrt{(m_1^A)^2 + (m_2^A)^2}, \quad m^A = \sqrt{(\bar{I}_{yz})^2 + (\bar{\Delta I})^2},$$

$$m_1^A = -\frac{\omega^2}{m_{z1}} m_{y0}^\phi - \bar{I}_{xz} \omega_x^2, \quad m_2^A = -\frac{\omega^2}{m_{z1}} m_{z0}^\phi + \bar{I}_{xy} \omega_x^2;$$

$$m^A = \sqrt{(\bar{I}_{yz})^2 + (\bar{\Delta I})^2}, \quad \cos 2\theta_4 = -\frac{\bar{\Delta I}}{m^A}, \quad \sin 2\theta_4 = -\frac{\bar{I}_{yz}}{m^A},$$

$m_{y0}^\phi, m_{z0}^\phi, C_{x1}, m_{z1}$  - коэффициенты аэродинамической асимметрии формы, лобового сопротивления и восстанавливающего момента.

При малых величинах момента  $a$  и малых углах атаки можно получить выражение для оценки вероятности захвата [7]:

$$Pr = \frac{2|\Phi|}{2\pi|a| + |\Phi|}. \quad (5)$$

$$\text{Здесь } \Phi = -\frac{8(1 - \bar{I}_x)\omega^2}{\sqrt{2\alpha}\sqrt{\bar{I}_x}(2 - \bar{I}_x)^{3/2}} \sqrt{\frac{-A}{m_x} - A} \cos(\theta_1 - \theta_2) +$$

где

$$+ 8 \sqrt{\frac{2(1-\bar{I}_x)}{(2-\bar{I}_x)}} \left( 1 - \frac{1-\bar{I}_x}{(2-\bar{I}_x)^2} \right) \frac{\sqrt{\alpha} \sqrt{m_x^A}}{\sqrt{\bar{I}_x}} \frac{d\omega}{dt} \quad , \quad |a| = \frac{2(1-\bar{I}_x)^{1/2}}{2-\bar{I}_x} \left| \frac{d\omega}{dt} \right| .$$

Выражение (5) рассматривается при выполнении неравенства  $|\Phi| < 2\pi|a|$ .

В итоге получаем, что величина параметра асимметрии  $m^A$  при вероятности захвата равной нулю (гарантированный проход через резонанс) определяется следующим образом:

$$m^A = \frac{2\bar{I}_x(1-\bar{I}_x)^{3/2}}{2-3\bar{I}_x} \frac{|d\omega/dt|}{\omega^2 \alpha^2} . \quad (6)$$

Здесь величины  $\alpha, \omega^2, d\omega/dt$  вычисляются на сепаратрисе [7].

С целью уменьшения величины вероятности захвата в резонанс введем в рассмотрение экспоненциальный и синусоидальный законы уменьшения инерционной асимметрии:

$$m^A = ke^{\lambda H} , \quad (7)$$

$$m^A = k \sin(\lambda H) . \quad (8)$$

Здесь  $k$  и  $\lambda$  – коэффициенты управления,  $H$  – высота полета аппарата.

При атмосферном спуске наблюдается уменьшение высоты полёта  $H$ . В результате осуществляется уменьшение параметра инерционной асимметрии  $m^A$

При численном моделировании предполагалось, что космический аппарат конической формы с массой 10 кг и малой асимметрией совершает спуск в атмосфере Венеры при малых углах атаки. Значения коэффициентов управления были следующими:  $k=0.029$ ,  $\lambda=10^{-5}$  и  $k=0.3$ ,  $\lambda=10^{-6}$  (для экспоненциального и синусоидального законов управления, соответственно).

Часть результатов численного моделирования для экспоненциального закона представлена на рисунках 1–3. На рисунке 1 содержатся: изменение угловой скорости  $\omega_x(t)$  и её резонансных

значений  $\omega_x^r(t)$  (кривая, пропорциональная изменению скоростного напора  $q(t)$ ). Параметры управления выбраны таким образом, что показанное на рис. 1 изменение угловой скорости  $\omega_x(t)$  и резонансного значения данной угловой скорости  $\omega_x^r(t)$  характерно как для экспоненциального, так и для синусоидального закона изменения. На рисунке 1 показано, что при уменьшении инерционной асимметрии (в соответствии с законом (7)) на восходящей ветви скоростного напора происходит реализация прохода через резонанс. Проход через резонанс имеет место на 250 секунде полета в атмосфере. Дальнейшее уменьшение параметра асимметрии приводит к стабилизации угловой скорости и угла атаки. На рисунке 2 представлен результат изменения инерционной асимметрии в соответствии с экспоненциальным законом (7). На рисунке 3 показано, что уменьшение инерционной асимметрии способствует также уменьшению вероятности захвата. При достижении резонансных значений угловой скорости (250 с.) вероятность захвата равна малой величине (менее 0,15). На рисунках 4–5 представлены: уменьшение инерционной асимметрии и расчет вероятности захвата, соответственно. При этом, в качестве закона управления асимметрией использовался синусоидальный закон (8). Численное моделирование случайного движения космического аппарата в окрестности резонанса позволяет сделать вывод о том, что выбор коэффициентов в законах управления (7) и (8) позволяет обеспечить гарантированный проход через резонанс. Из сравнения результатов численного моделирования, представленных на рисунках 2 и 4 следует, что синусоидальный закон управления (по сравнению с экспоненциальным законом) позволяет достигнуть меньших величин инерционной асимметрии. Величины вероятности захвата в резонанс при достижении резонансных значений угловой скорости на рисунках 3 и 5 также несколько меньше при синусоидальном законе, чем при экспоненциальном законе. Следовательно, выбирая один из законов управления величиной инерционной асимметрии (7) или (8) можно уменьшить вероятность захвата системы в резонанс до величины, обеспечивающей гарантированный проход системы уравнений движения через резонанс (6).



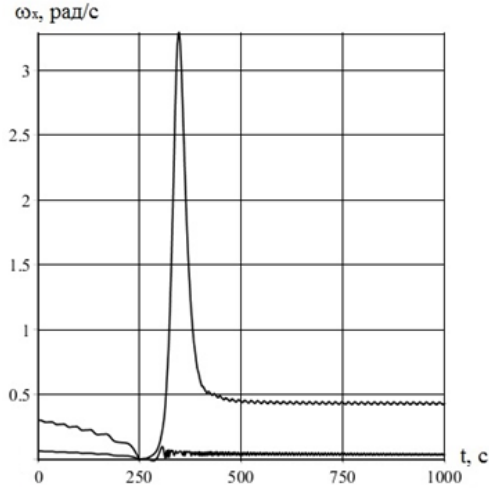


Рисунок 1. Эволюция угловой скорости  $\omega_x$  и резонансного значения  $\omega_x^r$

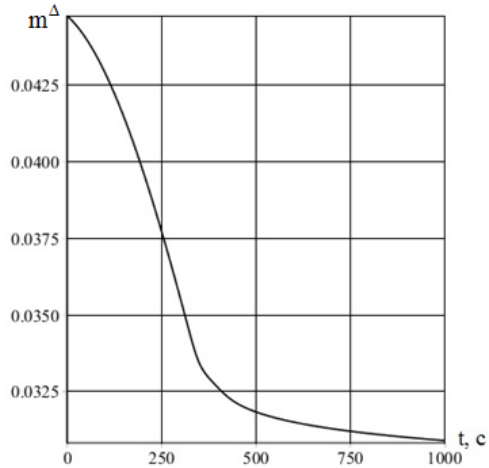
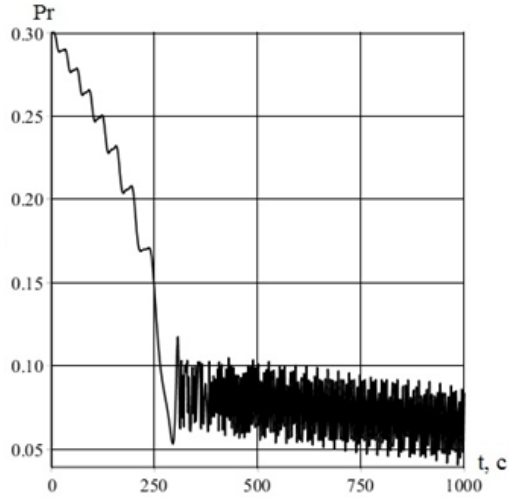
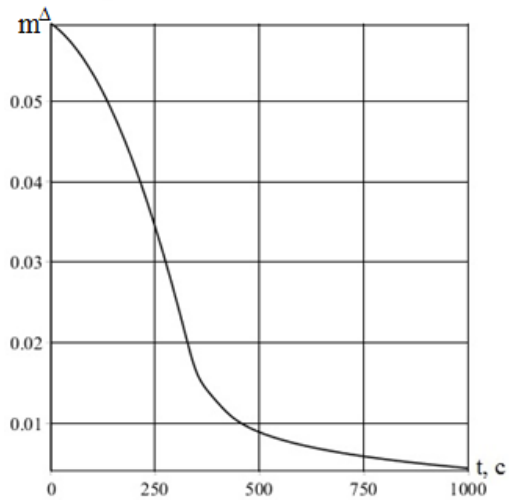


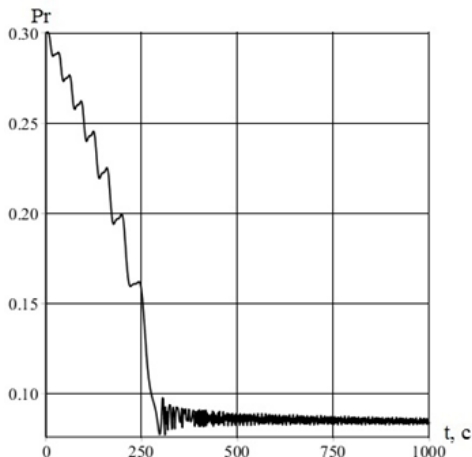
Рисунок 2. изменение параметра по экспоненциальному закону



**Рисунок 3. Вероятность захвата твердого тела в резонанс при экспоненциальном законе изменения**



**Рисунок 4. изменение параметра по синусоидальному закону**



**Рисунок 5. Вероятность захвата твердого тела в резонанс при синусоидальном законе изменения**

Результаты работы представляют определенный практический интерес, так как в рассмотренной системе малое уменьшение величины инерционной асимметрии позволяет обеспечить реализацию нерезонансного вращения космического аппарата. Представленная работа относится к классу задач, в которых изучается управление в системах с динамическим хаосом [8].

### Список литературы:

1. Калаев М.П., Любимов В.В., Сёмкин Н.Д. Полунатурное и имитационное моделирование процесса отделения микроспутника // Гироскопия и навигация. – 2014. – № 2 (85). – С. 52–60.
2. Любимов В.В. Асимптотический анализ вторичных резонансных эффектов при вращении космического аппарата с малой асимметрией в атмосфере // Известия вузов. Авиационная техника. – 2014. – № 3. – С. 23–28.
3. Любимов В.В., Лашин В.С., Численное моделирование резонансного эффекта с изменением направления вращения при атмосферном спуске асимметричного наноспутника // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2015): материалы международной конференции и молодежной школы. – Самара, 2015. – С. 250–253.
4. Заболотнов Ю.М., Любимов В.В. Вторичный резонансный эффект при движении КА в атмосфере // Космические исследования. – 1998. – Т. 36. – № 2. – С. 206–214.

5. Нейштадт А.И. Захват в резонанс и рассеяние на резонансах в двухчастотных системах // Тр. МИАН. – 2005. – Т. 250. – С. 198–218.
6. Заболотнов Ю.М. Асимптотический анализ квазилинейных уравнений движений в атмосфере КА с малой асимметрией III. Космические исследования// – 1994. – Т. 32. – № 4–5. – С. 112–125.
7. Любимов В.В. Оценка вероятности захвата в резонанс при движении динамически несимметричного твердого тела // Вестник СамГТУ. Серия: Физико-математические науки. – 2007. – № 2. (15) – С. 110–115.
8. Магницкий Н.А., Сидоров С.В. Новые методы хаотической динамики. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 320 с.

## СЕКЦИЯ 2.

### ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ СЕРУСОДЕРЖАЩИХ АМИНОКИСЛОТ

**Васина Янина Александровна**

канд. хим. наук, доцент кафедры химии ННГАСУ,  
РФ, г. Нижний Новгород  
E-mail: [vasina1@rambler.ru](mailto:vasina1@rambler.ru)

**Яблоков Вениамин Александрович**

д-р хим. наук., профессор, зав. кафедрой химии ННГАСУ,  
РФ, г. Нижний Новгород

#### REACTIVITY STUDIES OF SULPHUR CONTAINING AMINO ACIDS

**Yanina Vasina**

candidate of Chemical Science, Assistant Professor  
of Chemistry Department of Nizhniy Novgorod State University  
of Architecture and Civil Engineering,  
Russia, Nizhniy Novgorod

**Veniamin Yablokov**

doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of Chemistry Department  
of Nizhniy Novgorod State University of Architecture  
and Civil Engineering,  
Russia, Nizhniy Novgorod

#### АННОТАЦИЯ

Исследована термическая стабильность серусодержащих аминокислот, рассчитаны кинетические и активационные параметры, установлен механизм твердофазного термического превращения L- $\alpha$ -метионина, L- $\alpha$ -цистеина, L- $\alpha$ -цистина в вакуумированной системе.

## ABSTRACT

The thermal stability of the sulfur-containing amino acids has been determined, the kinetic constants of rate reaction and the activation parameters were calculated, the mechanism of thermal conversion of solid phase of L- $\alpha$ -methionine, L- $\alpha$ -cysteine, L- $\alpha$ -cystine in evacuated system is obtained.

**Ключевые слова:** L- $\alpha$ -метионин; L- $\alpha$ -цистеин; L- $\alpha$ -цистин; вакуумированная система; кинетика; константы скорости; энергия активации; продукты реакции; механизм твердофазного превращения.

**Keywords:** L- $\alpha$ -methionine;  $\alpha$ -L-cysteine; L- $\alpha$ -cystine; evacuated system; the kinetics; the constant of rate; the activation of energy; the products of reaction; solid phase of converting mechanism.

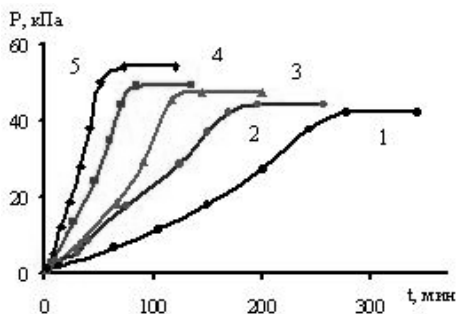
Микроорганизмы, растительный и животный мир на планете своим бесконечным разнообразием обязан уникальным молекулам белка. Белки выступают в качестве опорного структурообразующего полимера, построенного из 20 L- $\alpha$ -аминокислот. Это природные высокомолекулярные соединения обеспечивают все жизненные процессы любого организма. Серусодержащие аминокислоты входят в состав многих белков [1; 2; 4; 6]. Поэтому исследование термической стабильности этих аминокислот, их возможное участие в процессах образования полимеров явилось основанием для изучения их реакционной способности. Подобные данные в литературе практически отсутствуют. В работе [8] определена энергия активации разложения кристаллического метионина в присутствии кислорода воздуха. Согласно литературным данным по исследованию кинетики термического разложения серусодержащих аминокислот [9–11] получены кинетические и активационные параметры.

Целью нашей работы является исследование реакционной способности серусодержащих аминокислот и установление механизма твердофазного термического превращения L- $\alpha$ -метионина, L- $\alpha$ -цистеина и L- $\alpha$ -цистина в вакуумированной системе.

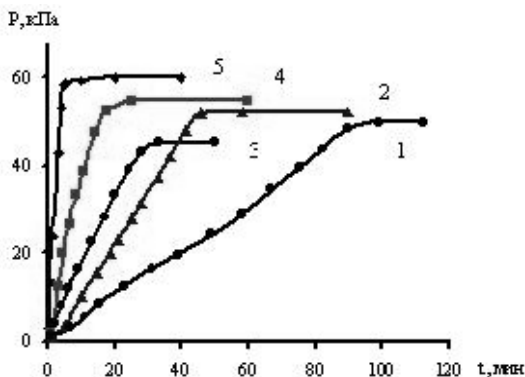
Мы использовали навески аминокислот (50 мг), включающий весь возможный спектр размеров частиц дисперсной фазы от 0,1 до 1,0 мм. Кинетические измерения проводили компенсационным методом в вакуумированной системе в статических условиях, которые описаны в [9]. С точки зрения кинетики химических процессов нет принципиальных различий в способе измерения скорости реакции по изменению количества прореагировавшего вещества (степень превращения) или количества продукта реакции. Убыль массы

кристаллической аминокислоты пропорциональна количеству моль газообразных продуктов реакции. Поэтому мы рассчитывали константы твердофазного термического превращения аминокислот по уравнению реакции первого порядка. Состав газообразных продуктов реакции идентифицировали на хромато-масс-спектрометре Trace GC Ultra/DSQII.

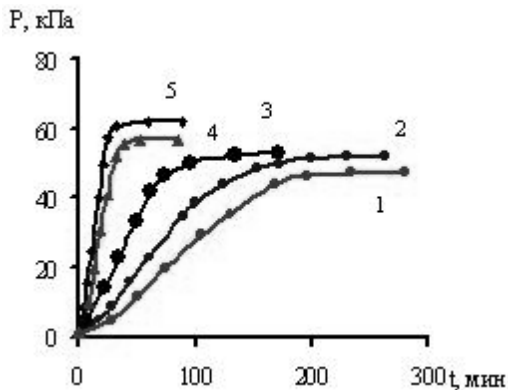
На рис. 1–3 приведены кинетические кривые превращения L- $\alpha$ -метионина (Met), L- $\alpha$ -цистеина (Cys) и L- $\alpha$ -цистина (Cys<sub>2</sub>), снятые в координатах давление (p) – время реакции (t).



**Рисунок 1. Зависимость давления газообразных продуктов превращения Met от времени в интервале температур: 1 – 216, 2 – 221, 3 – 226, 4 – 231, 5 – 236 °C**

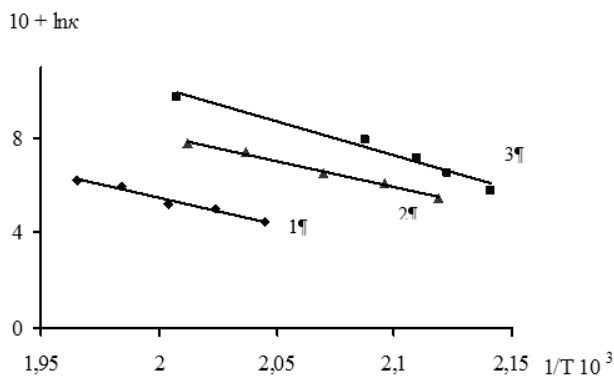


**Рисунок 2. Зависимость давления газообразных продуктов превращения Cys от времени реакции при следующих температурах: 1 – 194, 2 – 198, 3 – 201, 4 – 206, 5 – 225 °C**



**Рисунок 3. Зависимость давления газообразных продуктов превращения Cys<sub>2</sub> от времени реакции в интервале температур: 1 – 199, 2 – 204, 3 – 210, 4 – 218, 5 – 224 °С**

Термическое разложение аминокислот подчиняется уравнению реакции первого порядка до глубины превращения 30–50 %. Температурная зависимость констант скорости реакции описывается уравнением Аррениуса  $k = k_0 \cdot e^{-E/RT}$  (рис. 4). Кинетические и активационные параметры превращения серусодержащих аминокислот приведены в табл. 1.



**Рисунок 4. Температурная зависимость констант скорости реакции термического превращения 1 – Met, 2 – Cys<sub>2</sub>, 3 – Cys**



Таблица 1.

**Кинетические и активационные параметры превращения серусодержащих аминокислот**

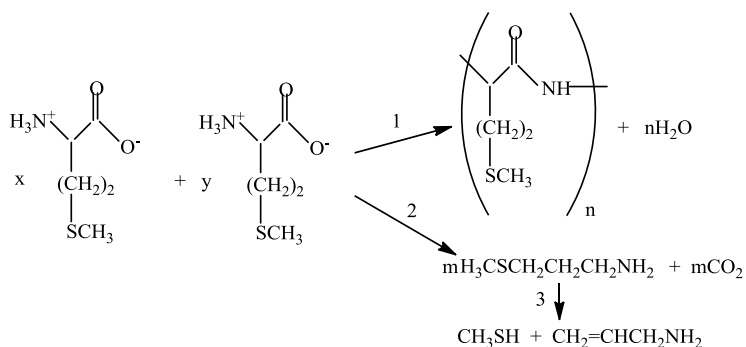
Аминокислота	$T, ^\circ\text{C}$	$k \cdot 10^3, \text{мин}^{-1}$	$k_{230} \cdot 10^3, \text{мин}^{-1}$	$E, \text{кДж/моль}$	$\ln k_0$
Met	216	4	15.1	$195 \pm 10$	$42.7 \pm 8$
	221	6			
	226	7			
	231	17			
	236	22			
Cys	194	25	1567	$193 \pm 15$	$46.6 \pm 5$
	198	53			
	201	85			
	206	190			
	225	728			
Cys <sub>2</sub>	199	13	223	$184 \pm 7$	$42.5 \pm 6$
	204	17			
	210	27			
	218	75			
	224	117			

Константы скорости превращения аминокислот растут в ряду Met < Cys<sub>2</sub> < Cys, (табл. 1, рис. 4) и отличаются в указанной последовательности на порядок. Кажущиеся энергии активации термораспада ( $E$ ) лежат в пределах 184–195 кДж/моль,  $\ln k_0$  в интервале 42–47.

Серусодержащие аминокислоты, такие как Cys и Cys<sub>2</sub>, относятся к классу тиолов, Met – замещенных тиолов. Большинство реакций тиолов относится к гетеролитическим реакциям нуклеофильного присоединения или замещения. Однако, тиолы особенно при высоких температурах также склонны к образованию тиольных радикалов за счет гомолиза S-C связи [3].

При термическом превращении Met образуется полимерная масса вещества, дающая положительную биуретовую реакцию на амидную группу в олигопептиде. В газовой фазе масс-спектрометрическим методом найдены CO<sub>2</sub>, метилтиол CH<sub>3</sub>SH, а также следы H<sub>2</sub>S и (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>; по остаточному давлению при комнатной температуре определено, что 50 % газовой фазы составляет вода-продукт поликонденсации. Хромато-масс-спектрометрическим методом в конденсированной фазе обнаружены: 3-метилтио-1-пропиламин, метилтиол и 1-аминопропен-2. Вероятная схема термического превращения Met

может быть представлена следующими параллельно и последовательно протекающими реакциями.

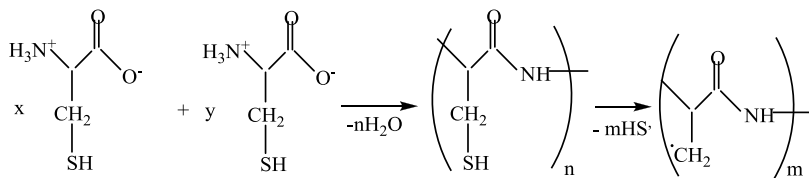


Вода, метилтиол и  $\text{CO}_2$  переходят из кристалла в газовую фазу и вместе с водой определяют в ней состав продуктов превращения Met.

В отличие от гетеролитической реакции поликонденсации 1 появление  $\text{CO}_2$  и метилтиола является следствием гомолитического расщепления связей C-S и C-O в кристалле (реакции 2 и 3).

Термическое превращение Cys и Cys<sub>2</sub>, также как и Met, сопровождается образованием олигомера (положительная биуретовая реакция). Газовая фаза состоит наполовину из воды,  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$  для Cys и Cys<sub>2</sub> соответственно. Как показали расчеты, на моль Cys образуется примерно 2 моль летучих веществ -  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{H}_2\text{S}$ . Количества  $\text{CO}_2$  в газовой фазе незначительны. В кристаллических структурах Cys и Cys<sub>2</sub> происходит, вероятно, гетеролитический процесс поликонденсации и последующий гомолитический разрыв связи C-S в образующемся олигомере, приводящий к образованию  $\text{H}_2\text{S}$ .

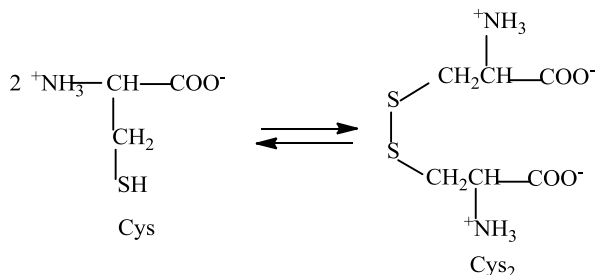
Судьба образующихся радикалов очевидна. Это подтверждается образованием значительного количества  $\text{H}_2\text{S}$  в газовой фазе.



Вероятно, существенную роль играют также внутримолекулярные процессы циклизации, приводящие к образованию

незначительных количеств метилтиазола, метилтиоазолидиена и производных пиридина и тиофена. Связь С–N в процессе термораспада этих аминокислот не подвергается разрыву. Об этом свидетельствует отсутствие в продуктах  $\text{NH}_3$ .

Из литературных источников [7] известна реакция взаимопревращения Cys и Cys<sub>2</sub>.



Найдено, что для этих аминокислот практически одинаковые продукты термопревращения, что свидетельствует о возможности протекания этой равновесной реакции в условиях нашего эксперимента.

Таким образом, формально скорость брутто-процесса превращения L-α-Met, L-α-Cys и L-α-Cys<sub>2</sub> при небольших глубинах разложения исходных соединений (30-50%) можно рассматривать как «кооперативную» химическую реакцию поликонденсации [5] первого порядка, протекающую в кристаллической фазе. Несмотря на близкие значения кажущихся энергий активации термопревращения L-α-Met, L-α-Cys и L-α-Cys<sub>2</sub> соответственно равных 195, 193 и 184 кДж/моль, эффективные константы реакции при одной и той же температуре отличаются один от другого на порядок в ряду Met < Cys<sub>2</sub> < Cys. При температурах выше 200 °С их превращение в вакууме сопровождается образованием серосодержащих газообразных продуктов и жидких азотсодержащих гетероциклических соединений.

### Список литературы:

1. Гринштейн Дж. Химия аминокислот и пептидов / Гринштейн Дж., Винниц М., под ред. Шемякина М.М. – М.: Мир, 1965. – 821 с.
2. Мазо В.К. Глутатион как компонент антиоксидантной системы желудочно-кишечного тракта / Мазо В.К. //Журнал гастроэнтерологии, гепатологии. – 1998. – № 1. – С. 47.

3. Общая органическая химия / Под ред. Кочеткова Н.К. и Нифантьева Э.Е. – Т. 5. – М: Химия, – 1983. – С. 130–163.
4. Овчинников Ю.А. Биоорганическая химия / Овчинников Ю.А. М: Просвещение, 1987. – 815 с.
5. Семчиков Ю.Д. Высокомолекулярные соединения / Семчиков Ю.Д. «Академия», – 1983. – 368 с.
6. Торгинский Ю.М. Сера в белках / Торгинский Ю.М. М.: Наука, 1977. – 302 с.
7. Тюкавкина Н.А. Биоорганическая химия / Тюкавкина Н.А., Бауков Ю.А. – М.: Дрофа, – 2010. – 544 с.
8. Vicol O. Some complex combinations of Pd(II) with methionine / Vicol O., Hurdac N., Schneider I.A. // J. Inorg. nucl. chem. – 1979. – Vol. 41. – P. 309.
9. Яблоков В.А. Кинетика термического разложения серусодержащих аминокислот / Яблоков В.А., Васина Я.А., Зеляев И.А., Митрофанова С.В // Ж. общ. хим. – 2009. – Т. 79. – Вып. 6. – С. 969–971.
10. Яблоков В.А. Исследование реакционной способности метионина и его комплекса с хлоридом ртути / Яблоков В.А., Васина Я.А., Зеляев И.А., Митрофанова С.В. // Приволжский научн. ж. Изд. Н. Новгород: ННГАСУ, – 2008. – № 1. – С. 110–112.
11. Яблоков В.А. Сравнительная кинетика термического разложения глутатиона, цистеина и глицина / Яблоков В.А., Васина Я.А. // Приволжский науч. жур. Изд. Н. Новгород: ННГАСУ, – 2012 – № 4 – С. 169–171.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖКОМПОНЕНТНОГО  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ  
И ФЕНИРАМИНА МАЛЕАТА В МОДЕЛЬНЫХ СМЕСЯХ  
МЕТОДОМ КАЛОРИМЕТРИИ**

***Ельцова Наталья Олеговна***

*ассистент кафедры общей и биоорганической химии  
Курского государственного медицинского университета,  
РФ, г. Курск  
E-mail: [eltsova-n@mail.ru](mailto:eltsova-n@mail.ru)*

***Будко Елена Вячеславовна***

*зав. кафедрой общей и биоорганической химии, д-р фарм. наук,  
профессор Курского государственного медицинского университета,  
РФ, г. Курск  
E-mail: [budko.e@list.ru](mailto:budko.e@list.ru)*

***Ямпольский Леонид Михайлович***

*канд. хим. наук, доцент кафедры общей и биоорганической химии  
Курского государственного медицинского университета,  
РФ, г. Курск  
E-mail: [yampolsky.leonid@yandex.ru](mailto:yampolsky.leonid@yandex.ru)*

***Клёсова Елена Юрьевна***

*студент 3 курса 3 группы биотехнологического факультета  
Курского государственного медицинского университета,  
РФ, г. Курск*

***Волкова Анастасия Владимировна***

*студент 3 курса 3 группы биотехнологического факультета  
Курского государственного медицинского университета,  
РФ, г. Курск*

***Костырко Дарья Григорьевна***

*студент 3 курса 3 группы биотехнологического факультета  
Курского государственного медицинского университета,  
РФ, г. Курск*

## INVESTIGATION OF THE INTERACTION BETWEEN THE COMPONENT OF MODEL MIXTURE CITRIC ACID AND PHENIRAMINE MALEATE BY CALORIMETRY

***Natalya Eltsova***

*assistant lecturer of the Department of General and Bioorganic Chemistry,  
Kursk State Medical University,  
Russia, Kursk*

***Elena Budko***

*head of the Department of General and Bioorganic Chemistry,  
Ph.D., Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor  
Kursk State Medical University,  
Russia, Kursk*

***Leonid Yampolsky***

*Ph.D in Chemistry Docent, Kursk State Medical University,  
Russia, Kursk*

***Elena Klysova***

*3rd year student of the Faculty of Biotechnology,  
Kursk State Medical University  
Russia, Kursk*

***Anastasia Volkova***

*3rd year student of the Faculty of Biotechnology,  
Kursk State Medical University  
Russia, Kursk*

***Daria Kostirko***

*3rd year student of the Faculty of Biotechnology,  
Kursk State Medical University  
Russia, Kursk*

### АННОТАЦИЯ

Взаимодействие между отдельными компонентами лекарственного препарата, вызванное особенностями технологических процессов производства должно быть исключено или сведено к минимуму. С применением термического анализа и дифференциального расчетно-графического метода обработки термограмм нами изучен процесс

совместной кристаллизации активных лекарственных субстанций лимонной кислоты и фенирамина малеата, широко применяемых в производстве медицинских препаратов. Для ряда компонентных соотношений показана возможность образования устойчивого межмолекулярного комплекса, даны количественные характеристики его образования, проведена оценка регулярности структуры.

#### ABSTRACT

Interaction between the components of the drug, caused by characteristics of processes must be avoided or minimized. Thermal analysis and differential settlement and graphics processing method of thermal images were used for studing the process of co-crystallization of the active drug substances citric acid and pheniramine maleate, they are widely used in the production of medicines. For a series of component ratios shown the ability to form a stable intermolecular complex, given the quantitative characteristics of its education, assessed the regularity of the structure.

**Ключевые слова:** межкомпонентное взаимодействие; кристаллизация; лекарственные субстанции; термический анализ; диаграмма плавкости; термограммы; межмолекулярные комплексы; фенирамина малеат; лимонная кислота.

**Keywords:** inter-molecular interaction; crystallization; medicinal substance; a thermal analysis melting diagram; the thermogram; intermolecular complexes; pheniramine maleate; citric acid.

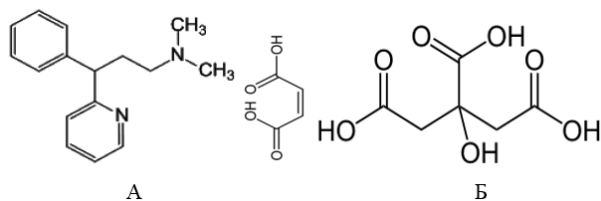
#### Введение.

Актуальность изучения многокомпонентных лекарственных средств определяется интенсивным развитием фармацевтических исследований по созданию новых лекарственных препаратов, особенно с учетом повышения требований GMP [7]. Ранее нами рассматривались возможности различных физико – химических методов для оценки совместимости и стабильности лекарственных препаратов [4], изучалась устойчивость компонентов в некоторых сложных лекарственных формах [6].

Современные лекарственные препараты, как правило, представляют собой многокомпонентные физико-химические системы, между отдельными составляющими которых возможно взаимодействие, в том числе спровоцированное особенностями технологических процессов производства и хранения. Выбор в качестве объекта исследования системы лекарственных веществ «лимонная кислота – фенирамина малеат», обусловлен значимым фармакологическим эффектом и широким распространением в составе антигистаминных, противо-

простудных и противовоспалительных лекарственных препаратов, активным использованием при конструировании современных лекарственных форм [8].

Свойства препаратов приводятся в нормативной документации [3]. Фенирамина малеат – соль третичного амина, включающего в себя ароматическую структуру и координационно с ней связанную малеиновую кислоту (рис. 1А), оказывает противоаллергическое действие, способен уменьшать явления экссудации. Лимонная кислота (2-гидрокси-1,2,3-пропантрикарбоновая кислота, 3-гидрокси-3-карбокспентандиовая,  $C_6H_8O_7$ ) – трёхосновная слабая карбоновая кислота (рис. 1Б), являясь главным промежуточным продуктом метаболического цикла трикарбоновых кислот, играет важную роль в системе биохимических реакций клеточного дыхания.



**Рисунок 1. Фенирамина малеат (А), лимонная кислота (Б)**

**Цель и задачи.** Основная цель заключается в выявлении межкомпонентного взаимодействия и условий формирования устойчивого межмолекулярного комплекса в системе «лимонная кислота – фенирамина малеат» калориметрическим методом.

Для достижения поставленной цели нами решены задачи сопоставления данных калориметрии для различных составов указанной смеси веществ и составляющих их чистых компонентов; разработки расчетного метода анализа и интерпретации полученных термограмм; описания и сравнительной характеристики межмолекулярных комплексов, формирующихся в данных системах.

**Материалы и методы.** В эксперименте использованы активные фармацевтические субстанции лимонной кислоты и фенирамина малеата, соответствующие нормативной документации.

Выбор калориметрии как метода исследования процесса образования твердой фазы при кристаллизации из расплава лимонной кислоты, фенирамина малеата и их смесей различных составов обусловлен схожестью этого подхода с особенностями технологических режимов при производстве лекарственных препаратов



из указанных лекарственных форм. Температурный диапазон определялся исходя из предельных значений температур плавления для отдельных компонентов и их смесей.

При исследовании смесей, температуры нагревания не превышали температуры плавления чистых веществ, находящихся в относительном избытке, исключая состояние эвтектики. Построение термограмм проведено с временным интервалом фиксации температуры в 10 с на приборе Баумана-Фрома. Теоретическое исследование экспериментальных функций  $T(t)$  проводили предложенным нами дифференциальным расчетно-графическим методом анализа термограмм, проверку осуществляли известным методом матричного анализа Уоллеса-Каца [2]. Обработку результатов проводили с использованием стандартного пакета прикладных программ. При разработке и использовании методики, учитывались подходы термохимических исследований при исследовании фазовых равновесий и двойных систем [1; 5].

#### **Экспериментальная часть**

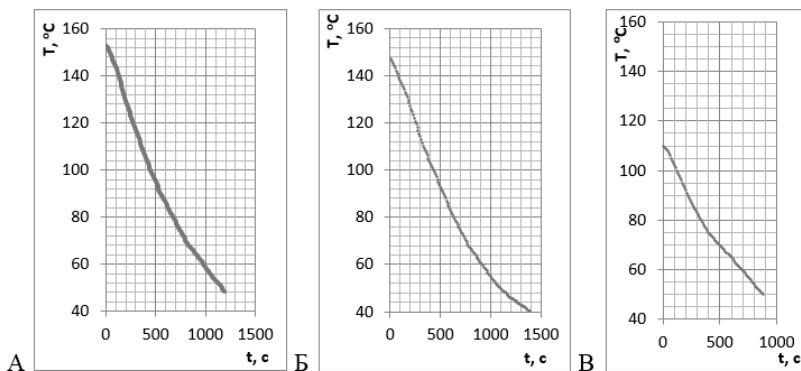
Полученные нами термограммы фармацевтических субстанций лимонной кислоты, фенирамина малеата и их смесей различных составов характеризуются достаточной плавностью температурных переходов из расплава в твердое состояние. Отсутствие явно выраженных точек бифуркации, не позволяет непосредственно на кривых  $T^{\circ}C(t)$  выявить участки, соответствующие структурным изменениям, возникающим в процессе снижения температуры исследуемой системы.

Уточнению экспериментальных данных способствует сопоставление экспериментальных кривых с термической характеристикой сосуда, что позволяет исключить возможные приборные погрешности. Дополнительно объективизировать экспериментальную картину, выявить динамику смещения точек перегиба в зависимости от состава позволяет достаточно малый концентрационный шаг в формировании исследуемых смесей.

Термограммы для лимонной кислоты, фенирамина малеата и их смесей обладают принципиальным сходством между собой, однако есть и определенные отличия в величине углов склонения кривых по отношению к осям ОХ и ОУ, степени крутизны поворотных участков кривых. Избранные нами в качестве примера кривые приведены на рис. 2.

Таким образом, полученные термограммы для лимонной кислоты, фенирамина малеата и их смесей (в качестве примера на рис. 2 Б приведена кривая смеси 50:50) дают экспериментальную информацию об их структурно – функциональных особенностях,

однако, отсутствие на графиках предельно четких точек перегиба даже для чистых компонентов вызывает серьезные затруднения при их интерпретации.



**Рисунок 2. Термограммы лимонной кислоты (А), фенирамина малеата (В) и их смеси в соотношении 50÷50 (В)**

Поскольку углы наклона линейных частей кривых  $T(t)$  отражают скоростные особенности затвердевания смесей, что, в свою очередь, является функцией структуры, их сопоставление позволяет судить об особенностях молекулярного взаимодействия в данных системах. К тому же, сопоставление термограмм смесей с аналогичными кривыми для чистых компонентов позволяет выявить признаки индивидуальных веществ в процессе структурно-функциональной интерпретации. В частности, термограммы чистых веществ имеют характерные углы наклона линейных участков кривых, степень крутизны поворотных участков и значения температур завершения образования твердой фазы.

Таким образом, полученные термограммы дают информацию о структурно-функциональных особенностях лимонной кислоты, фенирамина малеата и их смесей, однако, полной и объективной интерпретации исходных термограмм мешают их достаточно высокое параметрическое сходство и нелинейность характеристичных участков кривых.

Для более детальной интерпретации экспериментальных данных необходимо применение расчетно-графического подхода, позволяющего выявить на интегральных экспериментальных кривых отдельные характеристические участки и точки бифуркации.

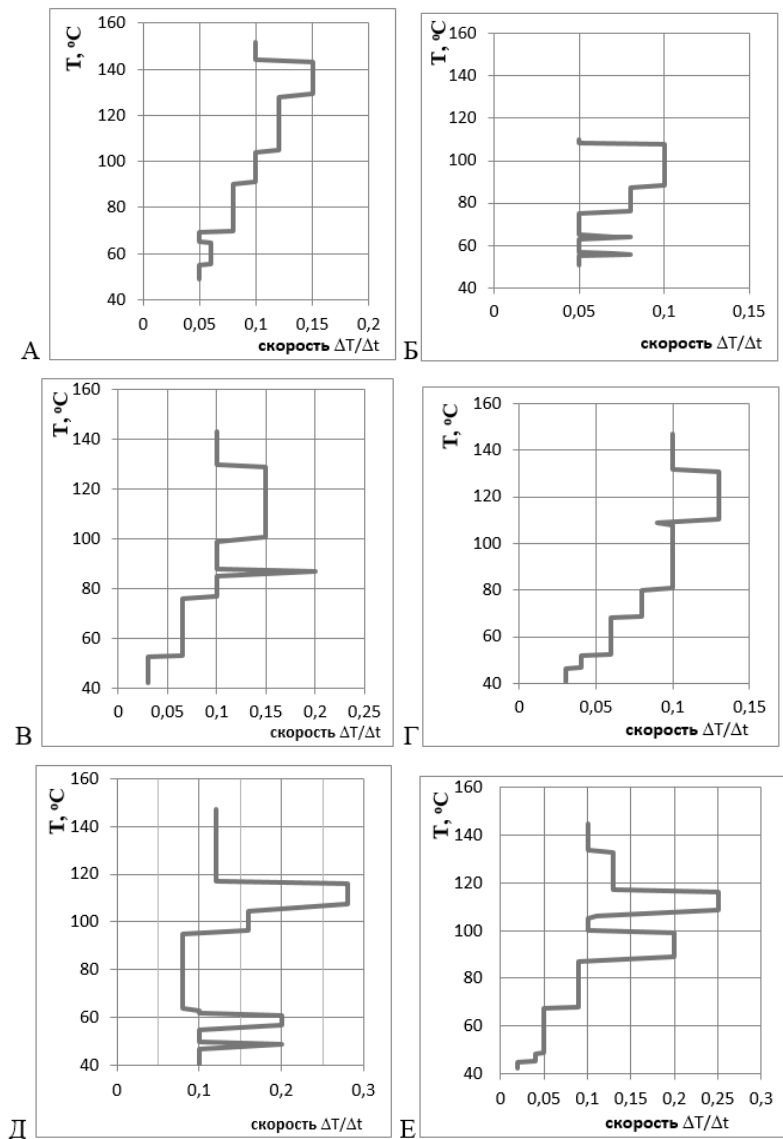
### Обсуждение результатов

Прежде всего, отметим, что форма кривых (рис. 2) без явных точек перегиба отражает плавность течения процессов затвердевания и имеет вид характерный в большей степени для процессов охлаждения расплавов с невысокой степенью организации кристаллической структуры, больше соответствующей поликристаллическим или аморфным образованиям. Однако это утверждение может быть принято только после интерпретации первичных данных – выявления точек перегиба и характеристических участков.

Для объективизации результатов анализа экспериментальных данных нами предложен дифференциальный расчетно-графический метод обработки термограмм. Суть предлагаемого нами метода состоит в сопоставлении с экспериментальной термограммой зависимости абсолютных значений температуры исследуемой системы от скорости этого процесса  $T^{\circ}\text{C}$  и  $\Delta T^{\circ}\text{C}/\Delta t$  с учетом тепловых характеристик экспериментального оборудования и построении графических зависимостей в координатах  $T^{\circ}\text{C} f(\Delta T^{\circ}\text{C}/\Delta t)$  (рис. 3).

Корреляция между абсолютным значением температуры ( $T^{\circ}\text{C}$ ) охлаждаемой системы и скоростью ( $\Delta T^{\circ}\text{C}/\Delta t$ ) этого процесса (с учетом характеристической термограммы установки) позволяет выявить бифуркационные точки, установить пределы течения отдельных процессов при охлаждении расплавов исследуемых систем. В частности, при затвердевании лимонной кислоты выявлено возникновение экзотермической компенсации охлаждения в диапазоне  $145\text{--}130^{\circ}\text{C}$  (рис. 3А). Сопряженное с ним изменение состояния системы нами обнаружено в диапазоне  $130\text{--}105^{\circ}\text{C}$ . Оба этих фазовых перехода сопровождаются температурной задержкой на фоне общего охлаждения системы. Таким образом, исследуемый образец лимонной кислоты обладает двумя участками кристаллизации с достаточно полной, хотя и не мгновенной температурной компенсацией с последовательным снижением скорости, что указывает как минимум на поликристалличность проходящего процесса.

Сопоставление термограммы фенирамина малеата с производной кривой  $T^{\circ}\text{C} f(\Delta T^{\circ}\text{C}/\Delta t)$  показывает наличие более организованного, чем у лимонной кислоты процесса кристаллизации в температурном диапазоне  $110\text{--}90^{\circ}\text{C}$  с меньшими признаками поликристалличности. Создается впечатление, что фенирамина малеат несколько лучше структурирован, обладает более правильной, чем у лимонной кислоты кристаллической решеткой. Процесс охлаждения его кристаллов сопровождается двумя небольшими температурными задержками с повышением скорости течения этих процессов относительно общей кривой охлаждения (рис. 3, Б), что показывает присутствие кристаллизующихся примесных элементов.



**Рисунок 3. Дифференциальные термограммы затвердевания расплавов лимонной кислоты (А) и фенирамина малеата (Б), их смесей в соотношениях 70÷30 (В); 50÷50 (Г); 40 ÷ 60 (Д); 20÷80 (Е).**

Сопоставление дифференциальных кривых охлаждения смесей с уменьшающейся долей лимонной кислоты от 70 % до 20 % показывает, что присутствие в смеси лимонной кислоты (рис. 3, В, Г, Д, Е) обеспечивает системе активную кристаллизацию, сначала в границах температур 100–130 °С (смеси 70÷30, 50÷50), затем при 108–116 °С (смеси 20÷80, 40÷60).

В тоже время отметим, что увеличение доли фенирамина малеата ведет к большей упорядоченности кристаллизационного процесса, температурному сближению его отдельных этапов, росту интенсивности компенсационных явлений.

Содержания лимонной кислоты в смеси 40 % формирует единообразную, активно кристаллизующуюся структуру с небольшой докристаллизацией при более низкой температуре, что соответствует наилучшим условиям образования единого межмолекулярного комплекса. Отметим, что именно при соотношении компонентов лимонная кислота – фенирамин 40÷60 этот комплекс наиболее устойчив и существует при достаточно низких температурах. Его устойчивость и структура зависят от особенностей молекулярного строения и соотношения формирующих его компонентов. Небольшая временная отсрочка кристаллизации указывает на минимальную поликристалличность с присущей ей относительно незначительной изотропностью.

Полученное нами подтверждение возможности образования межмолекулярного комплекса в твердой фазе смеси лимонной кислоты и фенирамина малеата, солидарно действующего в химических процессах, требует серьезного внимания, особенно при применении данных компонентов в фармации.

### **Вывод**

Отсутствие на термограммах четко выраженных точек бифуркации и устойчивых плато отражает процесс неполной термокомпенсации при образовании твердой фазы лимонной кислоты, фенирамина малеата и их смесей различных составов, что наряду с отсроченной во времени кристаллизацией, является признаком поликристалличности структуры исследуемых соединений. Для лимонной кислоты это может означать присутствие безводной и моногидратной форм твердой фазы, для фенирамина малеата это образование структуры из двух формирующих его компонентов: фенирамина и малеиновой кислоты. Одновременно выявлено присутствие примесей.

Предложенный нами дифференциальный метод расчетно-графической обработки термограмм позволяет выявить точки

бифуркации и плато, отражающие фазовые изменения состояния системы, т. е. объективизирует интерпретацию экспериментальных данных.

Выявлены условия образования межмолекулярных комплексов кристаллической структуры для различных составов смесей фенирамина малеата и лимонной кислоты.

Для исследуемых систем выявлено течение кристаллизации в два этапа: основной (с максимальным кристаллообразованием, собственной скоростью и компенсационной энергией) и дополнительный.

Система состава лимонная кислота – фенирамин 40÷60 при кристаллизации образует единый межмолекулярный комплекс в форме твердый раствор с небольшой долей поликристаллизации. Это соотношение является наиболее проблемным с точки зрения фармацевтического производства, т.к. интервал между температурой плавления и окончательной кристаллизацией минимален.

### Список литературы:

1. Баззаева Д.А. Диаграмма плавкости двойной системы иодидов висмута и калия / Д.А. Баззаева, К.Б. Дзеранова // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 9. – С. 66–67.
2. Бернштейн И.Я. Спектрофотометрический анализ в органической химии / И.Я. Бернштейн, Ю.Л. Каминский JL: Медгиз, 1975. – С. 230.
3. Государственная фармакопея Российской Федерации. XII издания. // М.: «Издательство «Научный центр экспертизы средств медицинского применения», 2008. – 704 с.
4. Ельцова Н.О. Аналитические методы исследования стабильности фармацевтических композиций и совместимости их компонентов / Н.О. Ельцова, Г.Б. Голубицкий, Е.В. Будко // Журнал аналитической химии. – 2014. – Т. 69. – № 10. – С. 1011.
5. Зайцев В.А. Фазовые равновесия в системе лампрофиллит–нефелин /В.А. Зайцев, Л.Н. Когарко, В.Г. Сенин //Геохимия – 2013. – № 11. – 987 с.
6. Куликов А.Л. Взаимодействие между компонентами таблеток «Пятикомпонентный препарат от простуды» // Вестн. МГУ. Серия 2: Химия. – 2007. – Т. 48. – № 3. – С. 178–181.
7. Прокопов И.А. Вопросы стабильности лекарственных средств, взаимосвязь с первичной упаковкой // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2014. – № 4(9). – С. 198–201.
8. Регистр лекарственных средств России РЛС Аптекарь. Издательство: РЛС-Медиа, 2011 – 1192 с.

**УСТОЙЧИВЫЕ ПОЛУАЦЕТАЛИ НА ОСНОВЕ  
2Н-1,4-БЕНЗОКСАЗИНОВ – ПРОДУКТЫ РЕАКЦИИ  
НЕКОТОРЫХ 1,3,4,6-ТЕТРАКАРБОНИЛЬНЫХ  
СОЕДИНЕНИЙ С 2-АМИНОФЕНОЛАМИ**

***Козьминых Владислав Олегович***

*д-р хим. наук, профессор, зав. кафедрой химии Пермского  
государственного гуманитарно-педагогического университета,  
РФ, г. Пермь  
E-mail: [kvoncstu@yahoo.com](mailto:kvoncstu@yahoo.com)*

***Муковоз Пётр Петрович***

*канд. хим. наук, преподаватель  
Оренбургского филиала Московского технологического института,  
РФ, г. Оренбург  
E-mail: [mpp27@mail.ru](mailto:mpp27@mail.ru)*

**STABLE SEMIACETALS BASED  
ON 2H-1,4-BENZOXAZINES AS PRODUCTS  
OF THE REACTION OF SEVERAL  
1,3,4,6-TETRACARONYL COMPOUNDS  
WITH 2-AMINOPHENOLS**

***Vladislav Kozminykh***

*doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Chemical Section  
of the Perm State Humanitarian Pedagogical University,  
Russia, Perm*

***Peter Mukovoz***

*candidate of Chemical Sciences, Teacher  
of the Orenburg Division of Moscow Technological Institute,  
Russia, Orenburg*

**АННОТАЦИЯ**

В обзоре представлены результаты изучения особенностей взаимодействия 1,3,4,6-тетракарбонильных соединений с 2-аминофенолами, разнообразия, структуры и свойств продуктов реакции –

необычных устойчивых полуацеталей – замещённых 2-гидрокси-2*H*-1,4-бензоксазинов.

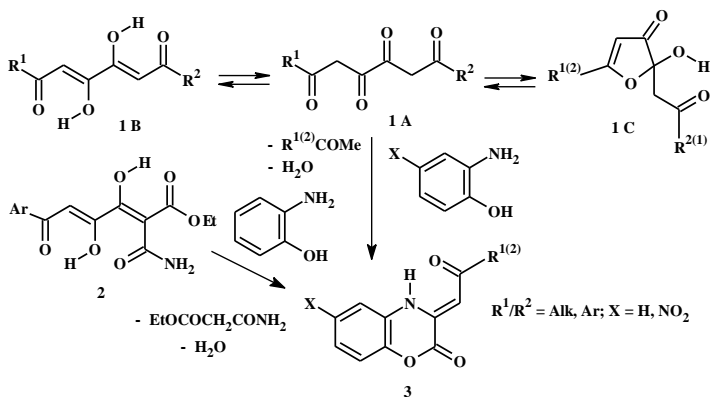
### ABSTRACT

Results of a study of features for the interaction of 1,3,4,6-tetracarboxyl compounds with 2-aminophenols, diversity, structure and properties of the reaction products – unusually stable semiacetals – substituted 2-hydroxy-2*H*-1,4-benzoxazines are reviewed.

**Ключевые слова:** 2-гидрокси-2*H*-1,4-бензоксазины; синтез; строение; свойства; 1,3,4,6-тетракарбонильные соединения; реакции; 2-аминофенолы.

**Keywords:** 2-hydroxy-2*H*-1,4-benzoxazines; synthesis; structure; properties; 1,3,4,6-tetracarboxyl compounds; reactions; 2-aminophenols.

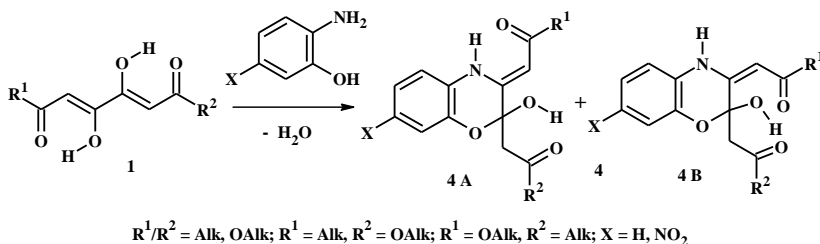
Реакция 1,3,4,6-тетракарбонильных соединений (ТКС, 1: формы 1*A*-1*C*, таутомер 1*B* обычно преобладает) и их карбамоильных производных, например соединений (2), с 2-аминофенолами является одним из удобных препаративных методов получения 3-оксоилден-3,4-дигидро-2*H*-1,4-бензоксазин-2-онов (3) (см. статьи [6; 8; 10], а также краткий обзор [5] и цитированные в нём работы) (рис. 1). Известно, что бензоксазины (3) обладают широким диапазоном биологического действия: бактериостатической, противоопухолевой, противовоспалительной, анальгетической активностью [3–5], что является стимулом для изучения этих соединений и родственных структур.



**Рисунок 1. Препаративный синтез 3-оксоилден-3,4-дигидро-2*H*-1,4-бензоксазин-2-онов (3)**



При изучении особенностей протекания некоторых реакций ряда ТКС (1:  $R^1$  и  $R^2 = \text{Alk}$ ,  $\text{OAlk}$ ) с 2-аминофенолами нами с удовлетворительными выходами (23–80 %) были выделены соединения, в структуре которых, судя по спектральным данным, неожиданно было обнаружено кольчатое полуацетальное звено, – замещённые 2-гидрокси-2Н-1,4-бензоксаины (4: изомеры 4А, 4В) (см. работы [1; 2; 6–9; 11; 12; 13; 15; 16] и зарубежный обзор [17]) (рис. 2; табл. 1).



**Рисунок 2. Синтез и строение кольчатых полуацеталей – производных 2-гидрокси-2Н-1,4-бензоксаина (4)**

**Таблица 1.**

**Матрица данных по производным 2-гидрокси-2Н-1,4-бензоксаина (4)**

Соединение	$R^1$	$R^2$	X	Т. пл., °С [лит.]	Прочие литературные источники *
4a	$\text{C}_2\text{H}_5$	<i>n</i> - $\text{C}_3\text{H}_7$	H	124–126 [8]	
4b	<i>n</i> - $\text{C}_3\text{H}_7$	$\text{C}_2\text{H}_5$	H	124–126 [8]	
4c	<i>n</i> - $\text{C}_3\text{H}_7$	<i>n</i> - $\text{C}_3\text{H}_7$	H	104–106 [8]	
4d	<i>n</i> - $\text{C}_3\text{H}_7$	<i>n</i> - $\text{C}_3\text{H}_7$	$\text{NO}_2$	119–121 [8]	
4e	<i>трет</i> - $\text{C}_4\text{H}_9$	<i>трет</i> - $\text{C}_4\text{H}_9$	H	133–134 [6]	[17]
4f	$\text{C}_2\text{H}_5$	$\text{OCH}_3$	H	93–95 [11]	
4g	<i>n</i> - $\text{C}_3\text{H}_7$	$\text{OCH}_3$	H	78–79 [11]	[1]
4h	$\text{OCH}_3$	$\text{C}_2\text{H}_5$	H	– **	[11]
4i	$\text{OCH}_3$	$\text{OCH}_3$	H	120–122 [12, 13]	[2]
4j	$\text{OCH}_3$	$\text{OCH}_3$	$\text{NO}_2$	159–161 [13]	[2]
4k	$\text{OC}_2\text{H}_5$	$\text{OC}_2\text{H}_5$	H	114–116 [12, 13]	[2, 7, 9, 16]
4l	$\text{OC}_2\text{H}_5$	$\text{OC}_2\text{H}_5$	$\text{NO}_2$	141–143 [13]	[2]
4m	$\text{OC}_3\text{H}_7\text{-}n$	$\text{OC}_3\text{H}_7\text{-}n$	H	64–66 [13]	[2]

4п	OC <sub>3</sub> H <sub>7-н</sub>	OC <sub>3</sub> H <sub>7-н</sub>	NO <sub>2</sub>	99–101 [13]	[2]
4о	OC <sub>4</sub> H <sub>9-н</sub>	OC <sub>4</sub> H <sub>9-н</sub>	H	61–63 [13]	[2]
4р	OC <sub>4</sub> H <sub>9-н</sub>	OC <sub>4</sub> H <sub>9-н</sub>	NO <sub>2</sub>	101–103 [13]	[2]

*Примечания.*

\* Приведены ссылки на прочую литературу (кроме приведённой в предыдущем столбце), в которой обсуждаются спектральные характеристики бензоксазинов (4), или на обзор [17].

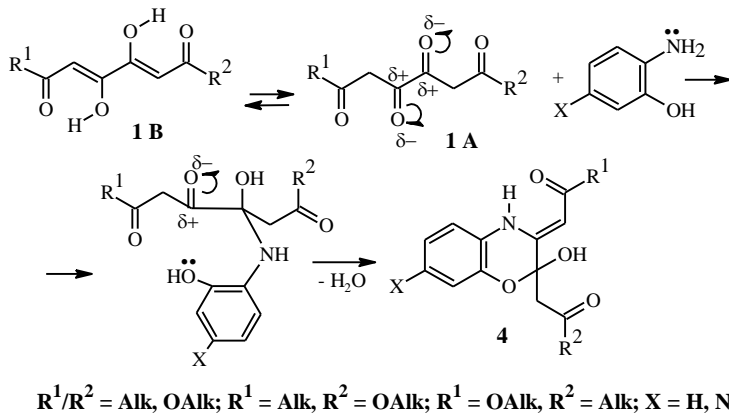
\*\* В индивидуальном состоянии соединение (4h) выделить не удалось [11].

Структурные характеристики полуацеталей (4), полученные на основании данных спектров ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C, <sup>1</sup>H-<sup>13</sup>C HMBC, <sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H NOESY, а также ИК спектроскопии, обсуждаются в следующих работах. Так, по бензоксазинам с терминальными алкильными заместителями (4a-e: R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup> = Alk) структурные данные и их анализ представлены в статьях [6; 8], по соединениям (4f-h: R<sup>1</sup> = Alk, R<sup>2</sup> = OAlk; R<sup>1</sup> = OAlk, R<sup>2</sup> = Alk) – в статьях [1; 11], а по наиболее подробно изученным эфирам (4i-p: R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup> = OAlk) – в публикациях [2; 7; 9; 12; 13; 16].

При различающихся терминальных заместителях R<sup>1</sup> и R<sup>2</sup> варианты их расположения относительно общего каркаса молекулы определяют наличие региоизомерных структур. Так, нам удалось охарактеризовать пары региоизомеров бензоксазинов (4a) и (4b) [8], (4f) и (4h) [11], а в первом примере выделить их в индивидуальном виде. Отсутствие региоселективности реакций ТКС (1: R<sup>1</sup> и R<sup>2</sup> = Alk; R<sup>1(2)</sup> = Alk, R<sup>2(1)</sup> = OAlk) с 2-аминофенолом в этих случаях может быть лишь частным фактом, и это предстоит уточнить в дальнейшем.

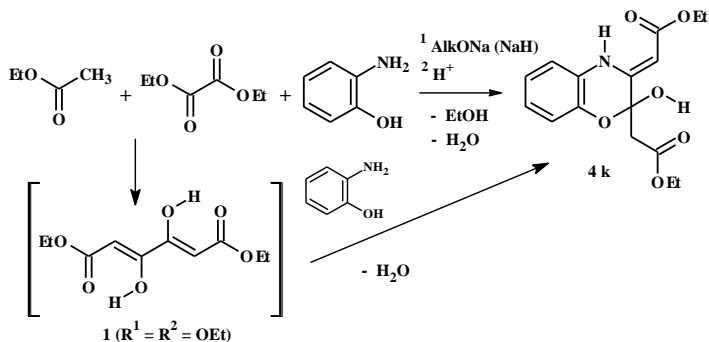
Два геометрических изомера ((Z)-4A) и ((E)-4B) отмечены у соединений (4a-d) [8], причём изомер (4B) преобладает, а в остальных выделенных веществах он является единственным. В ходе спектрального анализа удалось опровергнуть альтернативную структуру ((E)-4B) для соединения (4k) [13].

Сведения о возможных вариантах механизма взаимодействия ТКС (1) с 2-аминофенолами в синтезе производных 2-гидрокси-2H-1,4-бензоксазина (4) и обсуждение деталей протекания реакции приведены в статьях [11; 13], общая схема изображена ниже (рис. 3).



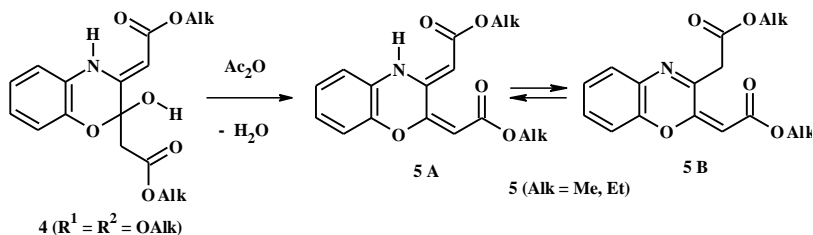
**Рисунок 3.** Схема возможного механизма протекания реакции 1,3,4,6-тетракарбонильных соединений (1) с 2-аминофенолами в синтезе производных 2-гидрокси-2H-1,4-бензоксазина (4)

Отметим, что бензоксазин (4к: R<sup>1</sup> = R<sup>2</sup> = OEt; X = H) получен также с невысоким выходом в результате трёхкомпонентной однореакторной конденсации этилацетата с диэтилоксалатом и 2-аминофенолом [7; 9; 16] (рис. 4), минуя стадию выделения первоначально образующегося диэтилкетипината (1: R<sup>1</sup> = R<sup>2</sup> = OEt; диенольная форма).



**Рисунок 4.** Трёхкомпонентная однореакторная конденсация этилацетата с диэтилоксалатом и 2-аминофенолом в синтезе полуацетала (4к)

Полуацетали (4) неожиданно оказались весьма устойчивыми [11], они не изменяются при обычных условиях. Дегидратацию эфиров 2,2'-(2-гидрокси-2*H*-1,4-бензоксазин-2-ил-3-илиден)диуксусной кислоты (4: R<sup>1</sup> = R<sup>2</sup> = OAlk) удаётся осуществить только в сравнительно жёстких условиях при двухчасовом кипячении этих соединений в уксусном ангидриде [14; 15] (рис. 5). В результате выделены и охарактеризованы эфиры 2,2'-(2*H*-1,4-бензоксазин-2,3-диилиден)диуксусной кислоты (5: Alk = Me, Et; таутомерные формы 5A, 5B).



**Рисунок 5. Дегидратация производных  
2-гидрокси-2*H*-1,4-бензоксазина (4)**

Согласно компьютерному прогнозу спектра биологической активности производные 2-гидрокси-2*H*-1,4-бензоксазина (4) с высокой степенью вероятности могут обладать фибринолитическим действием, являться регуляторами метаболизма липидов и стимуляторами сердечно-сосудистой системы [6], проявлять гипотензивную активность и выполнять роль антагонистов биогенного оксида азота [9; 16].

### Список литературы:

1. Андреева В.А., Горбунова А.В., Муковоз П.П., Козьминых В.О. Синтез и особенности строения метил-[(3*Z*)-2-гидрокси-3-(2-оксопентилиден)-3,4-дигидро-2*H*-1,4-бензоксазин-2-ил]ацетата // Приволжский научный вестник. Научно-практический журнал. – Ижевск: изд-во «Издательский Центр Научного Просвещения», ноябрь 2014. – № 11 (39). – Часть 1. – С. 16–22.
2. Андреева В.А., Муковоз П.П., Козьминых В.О. Эфиры 2,2'-(2-гидрокси-2*H*-1,4-бензоксазин-2-ил-3-илиден)диуксусной кислоты: препаративный синтез и особенности строения // Приоритетные направления развития науки и образования. Сборник материалов IV Международной науч.-практ. конф. Чебоксары, Чувашский гос. ун-т им. И.Н. Ульянова, 19 марта 2015 г. – Чебоксары: ЦНС "Интерактив плюс", 2015. – С. 25–26.

3. Бабенышева А.В., Лисовская Н.А., Белевич И.О., Лисовенко Н.Ю. Синтез и антимикробная активность замещённых бензоксазинов и хиноксалинов // Химико-фармацевтический журнал. – 2006. – Т. 40. – № 11. – С. 31–32.
4. Гейн В.Л., Рассудихина Н.А., Воронина Э.В. Синтез и противомикробная активность 6-этилсульфонил-3-ацилметилден-1,4-бензоксазин-2-онов // Химико-фармацевтический журнал. – 2006. – Т. 40. – № 10. – С. 32–33.
5. Козьминых В.О. Препаративные технологии в синтезе биологически активных 3-ацилметилден-3,4-дигидробензо[b]-1,4-оксазин-2-онов // Технические науки – от теории к практике. Сборник статей по материалам XXVIII международной науч.-практ. конф., Новосибирск, 27 ноября 2013 г. – Новосибирск: изд-во «СибАК», 2013. – № 11(24). – С. 104–109.
6. Козьминых В.О., Игидов Н.М., Козьминых Е.Н. Взаимодействие 5,6-дигидрокси-2,2,9,9-тетраметилдека-4,6-диен-3,8-диола с о-аминофенолом и о-аминотиофенолом // Химия гетероциклических соединений. – 2003. – № 4 (430). – С. 627–629.
7. Козьминых В.О., Муковоз П.П. Синтез и строение необычного производного 2-гидрокси-3-илиден-2Н-1,4-бензоксазина – продукта трёхкомпонентной тандемной конденсации // Многопрофильный университет как региональный центр образования и науки. Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. Оренбург, Оренбургский гос. ун-т, 20–22 мая 2009 г. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – С. 2300–2303.
8. Козьминых В.О., Муковоз П.П., Козьминых Е.Н. Тетракарбонильные системы. Сообщение 10. Взаимодействие 1,6-диалкил-3,4-дигидрокси-2,4-гексадиен-1,6-дионов с 2-аминофенолом в синтезе 3-(2-оксоалкилиден)-3,4-дигидро-2Н-1,4-бензоксазинов // Universum: Химия и биология. Электронный научный журнал. – 2015. – № 1–2 (11). – 17 с.
9. Козьминых В.О., Ноздрин И.Н., Муковоз П.П., Крохин И.П. Синтез и особенности строения 2-гидрокси-3-илиден-2Н-1,4-бензоксазина – продукта трёхкомпонентной оксалильной конденсации // Современные проблемы гуманитарных и естественных наук. Материалы второй международной науч.-практ. конф. Москва, 15–25 января 2010 г. Том II. – Москва: ООО «Открытое право», 2010. – С. 31–33.
10. Козьминых Е.Н., Игидов Н.М., Шавкунова Г.А., Козьминых В.О. Химия 2-метилден-2,3-дигидро-3-фуранонов. Сообщение 16. Взаимодействие 5-арил-2-ацилметилден-2,3-дигидро-3-фуранонов с ароматическими аминами и N-арилиденаминами // Известия Академии Наук. Серия химическая. – 1997. – № 7. – С. 1340–1345.
11. Муковоз П.П., Андреева В.А., Ельцов О.С., Козьминых Е.Н., Козьминых В.О. Взаимодействие метиловых эфиров 3,4-дигидрокси-6-оксо-2,4-алкадиеновых кислот с 2-аминофенолом // Журнал общей химии. – 2015. – Т. 85. – № 6. – С. 918–922.

12. Муковоз П.П., Козьминых В.О. Синтез и особенности строения диэфиров (2'Z)-2,2'-(2-гидрокси-2Н-1,4-бензоксазин-2-ил-3-илиден)диацетатов // *Актуальные проблемы современной науки*. Естественные науки. Часть 8. Органическая химия. Труды 10-й Международной конф. Самара, 16–18 декабря 2009 г. – Самара: изд-во Самарского гос. областного ун-та, 2009. – С. 32–36.
13. Муковоз П.П., Козьминых В.О., Андреева В.А., Козьминых Е.Н., Ельцов О.С. Синтез и особенности строения эфиров 2,2'-(2-гидрокси-2Н-1,4-бензоксазин-2-ил-3-илиден)диуксусной кислоты // *Журнал органической химии*. – 2015. – Т. 51. – Вып. 10. – С. 1483–1486.
14. Муковоз П.П., Козьминых В.О., Дворская О.Н. Новый простой метод получения 2,2'-(2Н-1,4-бензоксазин-2,3-дилиден)диацетатов // *Башкирский химический журнал*. – 2010. – Т. 17. – № 3. – С. 23–24.
15. Муковоз П.П., Козьминых В.О., Кириллова Е.А., Иванов А.С., Фадеев А.А. Новые достижения в синтезе оксолиденпроизводных имидазола, 1,4-бензоксазина и хиноксалина // *Новые направления в химии гетероциклических соединений*. Материалы Международной конф. Кисловодск, 3–8 мая 2009 г. – Кисловодск, 2009. – С. 392–393.
16. Муковоз П.П., Крохин И.П., Козьминых В.О., Ноздрин И.Н. Необычная реакция этилацетата с диэтилоксалатом и о-аминофенолом // *Современные аспекты химии гетероциклов*. Сборник трудов 4-ой Международной конф. (СВС2010) "Химия и биологическая активность синтетических и природных соединений", посвященной 95-летию проф. А.Н. Коста, Санкт-Петербург, 2–6 августа 2010 г. Под ред. д. х. н., акад. РАЕН В.Г. Карцева. – Москва: ICSPF, 2010. – С. 321–323.
17. Паš J., Anderluh P.Š., Dolenc M.S., Kikelj D. Recent advances in the synthesis of 2Н-1,4-benzoxazin-3(4Н)-ones and 3,4-dihydro-2Н-1,4-benzoxazines // *Tetrahedron*. – 2005. – Vol. 61. – P. 7325–7348.

## ПОЛУЧЕНИЕ ФЕРРАТ-ИОНОВ (VI) ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВОДЫ И СТОЧНЫХ ВОД

**Митина Оксана Александровна**

*старший преподаватель, Рудненский индустриальный институт,  
Республика Казахстан, г. Рудный  
E-mail: [mitina-oksana@mail.ru](mailto:mitina-oksana@mail.ru)*

**Торетаев Медет Умирзакович**

*магистр технических наук,  
Рудненский индустриальный институт, Республика Казахстан,  
г. Рудный  
E-mail: [turetaev\\_medet@mail.ru](mailto:turetaev_medet@mail.ru)*

**Юрченко Инна Викторовна**

*магистр химии, Рудненский индустриальный институт,  
Республика Казахстан, г. Рудный  
E-mail: [iurz@mail.ru](mailto:iurz@mail.ru)*

## OBTAINING OF FERRATE (VI) IONS FOR WATER AND WASTEWATER TREATMENT

**Oksana Mitina**

*senior Lecturer, Rudny Industrial Institute,  
Republic of Kazakhstan, Rudny*

**Medet Toretayev**

*master of engineering science, Rudny Industrial Institute,  
Republic of Kazakhstan, Rudny*

**Inna Yurchenko**

*master of chemistry, Rudny Industrial Institute,  
Republic of Kazakhstan, Rudny*

### АННОТАЦИЯ

Выявление условий электрохимической генерации феррат-ионов анодным растворением стальной стружки. Показана возможность

снижения степени пассивации стального анода предварительной поляризацией его в щелочном электролите.

#### ABSTRACT

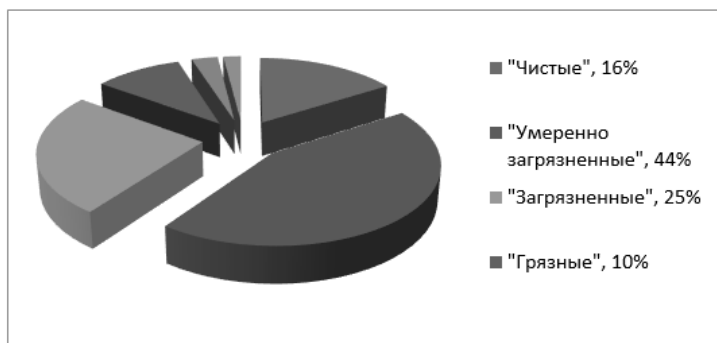
Identification of conditions of electrochemical generation of ferrations anode dissolution of steel shaving. The possibility of reducing the steel anode passivation by pre-polarization it in an alkaline electrolyte was shown.

**Ключевые слова:** феррат натрия; электрохимический синтез.  
**Keywords:** sodium ferrate; electrochemical synthesis.

По данным UNICEF и Всемирной организации здравоохранения, в настоящий момент доступ к питьевой воде имеют 89 процентов населения Земли.

Не проста ситуация с обеспечением качественной питьевой воды и в Республике Казахстан. Состояние водных ресурсов Казахстана оценивается общей недостаточностью, продолжающимся их загрязнением и истощением. На сегодняшний день значительная часть казахстанцев все еще не обеспечена водой соответствующего качества и в полном объеме.

Всего из общего количества объектов Республики Казахстан (105 водных объектов: 71 рек, 16 озер, 14 водохранилищ, 3 канала, 1 море) к «чистым» отнесены 18 водных объектов; к классу «умеренно загрязненных» – 49 водных объектов; к классу «загрязненных» – 28 водных объектов; к классу «грязных» – 11 водных объектов; к классу «очень грязных» – 3 водных объекта; к классу «чрезвычайно грязных» – 2 водных объекта.



*Рисунок 1. Состояние водоемов Республики Казахстан [1]*



Качество водных ресурсов является одним из лимитирующих факторов устойчивого развития Казахстана. В условиях, когда не только индустриализация, но и также практика использования всего комплекса коммунально-бытовых удобств добирается и разворачивается во всю ширь в самых отдаленных уголках, водоемы уже попросту не справляются со значительно возросшими масштабами загрязнения. Поэтому проблема повсеместной очистки сточных вод в Республике Казахстан стоит достаточно остро.

Новым и весьма перспективным методом очистки воды является применение ферратов (VI) щелочных металлов, обладающих многофункциональным действием. Ферраты (VI) являются одними из наиболее мощных известных окислителей (в кислой среде потенциал  $\text{FeO}_4^{2-}$ -иона выше потенциала озона и является наибольшим в ряду используемых на данный момент соединений и способны разлагать многие токсичные химические вещества до малотоксичных продуктов (окисляющее действие), а также вызывать гибель микроорганизмов (дезинфицирующее действие). Продуктом разложения самих ферратов в растворе является гидроксид железа, то есть малотоксичный продукт. Кроме того, гидроксид железа выделяется в виде коллоидных агрегатов с очень развитой поверхностью, которые эффективно адсорбируют ионы тяжелых металлов, частицы суспензий и органические остатки, обеспечивая дополнительную очистку воды путем коагуляции поллютантов (коагулирующее действие) [2].

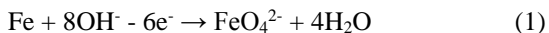
К возможным областям применения ферратов (VI) можно отнести очистку бытовых и промышленных стоков, питьевой воды артезианских скважин от тяжелых металлов, бактерий, вирусов, солей железа; окисление сероводорода, присутствующего в качестве примеси в отходах бумажных и текстильных заводов, химических фабрик; окисление цианидов, присутствующих в отбросах заводов по переработке стали и железа; окисление тиоцианатов, широко используемых в промышленности при разделении металлов, электроникелировании, в фотопроизводстве; окисление тиомочевины, применяемой в текстильной промышленности и т. д. В связи с широкими областями применения данных соединений прогрессивным направлением развития является создание простых, неэнергоемких и дешевых способов получения ферратов (VI) щелочных металлов.

Проблема очистки воды электрохимическими генерированными феррат-ионами является комплексной, и для успешного выбора условий очистки необходимо решить ряд проблем. Во-первых, необходимо выбрать материал растворимого анода. Состав анода, а именно, содержание в нем кремния и углерода, оказывает большое

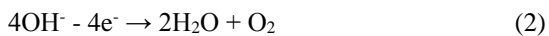
внимание на выход по току феррат-ионов. Необходимо подобрать условия, при которых реакция выделения кислорода при анодной поляризации электрода шла бы с минимальной скоростью, во избежание значительного снижения выхода по току феррат-ионов.

Большие проблемы при электрохимической генерации феррат-ионов доставляет пассивация анода в щелочной среде. Разработка мероприятий, снижающих степень пассивации анода при электролизе в щелочном электролите – непростая задача. Она может быть решена тщательным подбором материала электрода, а также его предварительной поляризацией (преполяризацией).

При анодном растворении железа имеет место следующая реакция образования феррат-ионов:

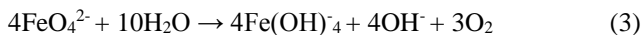


Полному протеканию указанной реакции препятствует ряд факторов. Во-первых, при анодной поляризации железа в щелочной среде имеет место образование кислорода по электрохимической реакции:

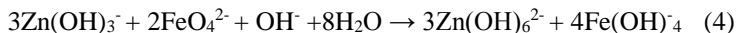


Указанная реакция снижает выход по току целевой реакции образования феррат-ионов.

Образовавшиеся феррат-ионы, к тому же, склонны к разложению в щелочной среде:



Разложению феррат-ионов будет способствовать наличие в составе анода и в растворе примесных элементов, которые могут вступать в окислительно-восстановительные реакции с феррат-ионами в щелочной среде (на примере цинка):

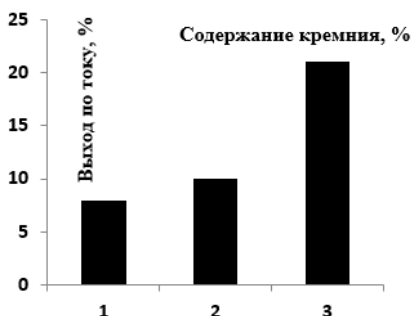


Задача настоящей работы сводилась к поиску условий электрохимического получения феррата натрия и калия, с минимизацией вышеназванных негативных процессов, приводящих к снижению выхода феррат-ионов путем получения зависимости «плотность тока – потенциал» в потенциодинамических условиях.

В качестве объектов исследования были взяты 3 образца стальной стружки, которые различались между собой содержанием кремния: образец № 1 – Si (2,21 %); образец № 2 – Si (2,64 %); образец № 3 – Si (3,15 %).

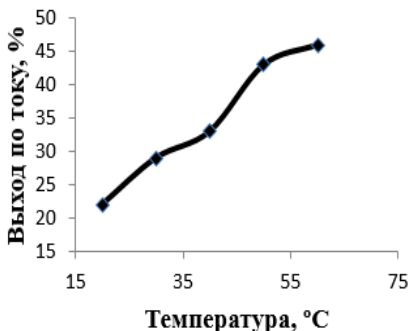
Согласно проведенным исследованиям было выяснено, что повышение содержания кремния в аноде положительно сказывается на выходе по току феррат-ионов (рисунок 2). Данный факт согласуется с результатами, приведенными авторами работы [3]. Дальнейшие эксперименты были проведены с образцом № 3 (с наибольшим содержанием кремния).

Влияние температуры на процесс образования феррат-ионов основывается на том, что повышение температуры приводит к снижению пассивации электрода при анодной поляризации. Это приводит к усилению оксо-гидроксидного слоя анода (который образуется на поверхности стального электрода при поляризации) с анионами гидроксила, присутствующими в растворе. При этом в контакт с электролитом приводится свежая поверхность анода, и выход по току феррат-ионов возрастает. Указанное положительное влияние повышение температуры на выход феррат-ионов отражено также в работах [4; 5].



**Рисунок 2. Влияние содержания кремния в аноде на выход по току феррат-ионов. Продолжительность электролиза – 30 мин; плотность тока – 20 мА/см<sup>2</sup>; температура – 25 °С**

Результаты эксперимента (рисунок 3) показали, что повышение температуры приводит к увеличению выхода по току феррат-ионов.



**Рисунок 3. Влияние температуры на выход по току феррат-ионов. Продолжительность электролиза – 30 мин; плотность тока – 20 мА/см<sup>2</sup>**

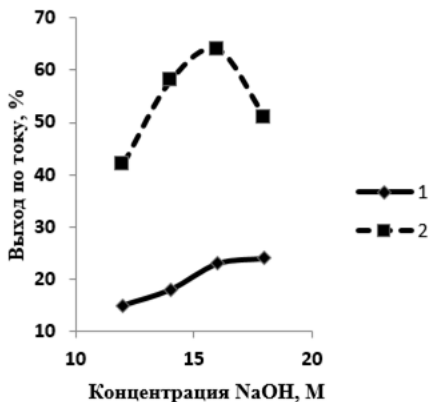
Однако, повышение температуры ускоряет процесс разложения феррат-ионов [5]. Поэтому при практической реализации электрохимического синтеза ферратов щелочных металлов необходимо также учитывать и данный факт.

Влияние состава раствора на выход по току феррат-ионов исследовалось в двух аспектах. Во-первых, исследовалось влияние концентрации NaOH на выход феррат-ионов при использовании электролита, содержащего только гидроксид натрия. Во-вторых, исследовалось применение смешанного электролита (NaOH + KOH) при электрохимическом получении феррата натрия.

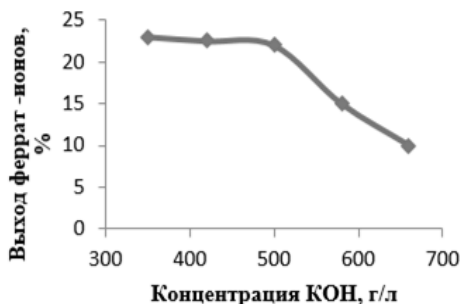
Данные, приведенные на рисунке 4, показывают, что повышение температуры в целом позитивно сказывается на образовании феррат-ионов. При температуре 20 °C кривая выхода по току феррат-ионов выходит на плато при 16 М NaOH и составляет 21–23 %. При температуре 60 °C максимальный выход феррат-ионов по току (64 %) достигается при 16 М NaOH; дальнейшее повышение концентрации гидроксида натрия значительно снижает выход по току феррат-ионов.

По-видимому, данный факт связан с пассивацией анода, которая препятствует его растворению. При этом возрастает доля тока, пошедшая на выделение кислорода, и выход по току образования феррат-ионов падает.

Следующая серия опытов по электросинтезу ферратов была поставлена с использованием смешанного (NaOH + KOH) электролита (с суммарной концентрацией гидроксидов натрия и калия в растворе 750 г/л).



**Рисунок 4.** Влияние концентрации NaOH на выход по току феррат-ионов. Продолжительность электролиза – 30 мин; плотность тока – 40 мА/см<sup>2</sup>. Температура, °С: 1 – 20; 2 – 60



**Рисунок 5.** Влияние концентрации КОН на выход феррат-ионов. Продолжительность электролиза – 2 ч; общая концентрация гидроксидов калия и натрия – 750 г/л; анодная плотность тока – 30 мА/см<sup>2</sup>

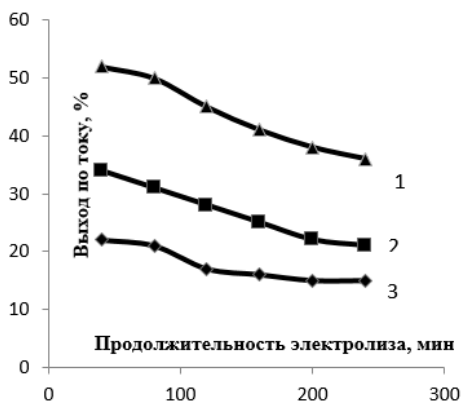
Анализируя полученные результаты (рисунок 5), можно увидеть, что вплоть до достижения содержания КОН 500 г/л выход феррат-ионов находится на одинаковом уровне и составляет 22–23 %, что примерно соответствует 0,05 М концентрации феррат-ионов. При увеличении концентрации КОН выход феррат-ионов резко падает.

Опытным путем установлено, что при продолжительности электролиза более 2-х часов более 90 % феррат-ионов переходит

в твердый осадок, то есть содержание феррат-ионов в анолите не превышает  $10^{-4}$  М. Произведение растворимости феррата калия  $K_s$  составляет:  $K_s = [K^+][KFeO_4^-] = 0,044$  моль<sup>2</sup>/л<sup>2</sup> при 25 °С.

Таким образом, расчеты показывают, что 90 % феррат-ионов, которые образуются при электролизе, извлекаются в виде твердого феррата калия.

Плотность тока является одним из наиболее важных параметров, определяющих результаты любого процесса электрохимического синтеза. С увеличением анодной плотности тока выход по току для феррат-ионов снижается (рисунок 6).



**Рисунок 6.** Влияние анодной плотности тока на выход по току феррат-ионов. 1 – 5 мА/см<sup>2</sup>, 2 – 10 мА/см<sup>2</sup>, 3 – 15 мА/см<sup>2</sup>

Это обусловлено, видимо, протеканием побочных процессов на аноде. С другой стороны, проведение процесса при невысоких плотностях тока экономически нецелесообразно. Это связано с тем, что низкая плотность тока приводит к низкой скорости образования феррат-ионов, что, учитывая их склонность к саморазложению, является критичным.

Не маловажным показателем является концентрация феррат-ионов в анолите после электролиза. Сравнение теоретических значений концентрации феррат – ионов (при 100 %-м выходе по току) и практических (фактических) значений приведено в таблице 1.

Таким образом, между экспериментально наблюдаемыми значениями концентраций  $Fe_2O_4^{2-}$  и плотностью тока имеет место практически линейная зависимость. Выход по току феррат – ионов

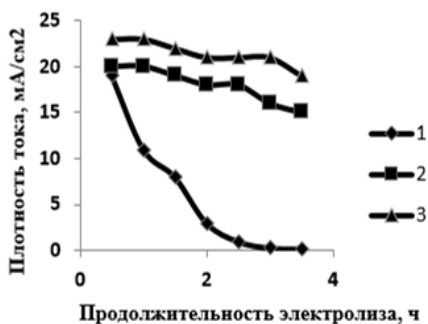
с ростом анодной плотности тока падает со значения 64 % (при 3 мА/см<sup>2</sup>) до значения 42 % (при 15 мА/см<sup>2</sup>). Очевидно, что с ростом плотности тока увеличивается доля тока, идущая на выделение кислорода на аноде.

**Таблица 1.**

**Зависимость концентрации феррат-ионов в анолите от плотности тока при электролизе в 14 М NaOH**

Плотность тока, мА/см <sup>2</sup>	Концентрация феррат-ионов, моль/л		Выход по току, %
	<i>C<sub>экспер</sub></i>	<i>C<sub>теор</sub></i>	
3,0	3,7	5,8	64
4,5	5,1	8,8	58
6,5	7,0	12,6	56
8,5	8,7	16,5	53
15,0	12,3	29,2	42

В ходе исследования представляло интерес выяснить, как преполяризация электрода влияет на стабильность растворения анода в щелочной среде. Электролиз в потенциостатическом режиме (рисунок 7) показал, что на необработанном электроде плотность тока снижается сразу после начала электролиза, и через 3 часа электролиза достигает значения 0,05 мА/см<sup>2</sup> (кривая 1, рисунок 7). Данный факт связан с пассивацией поверхности анода. Предварительная поляризация электрода значительно меняет его свойства при анодной поляризации: падение значения плотности тока через 3 часа поляризации невелико и составляет несколько процентов. Таким образом, предварительная поляризация электрода позволяет увеличить выход по току феррат-ионов.



**Рисунок 7. Изменение плотность тока при анодной поляризации электрода в 14 М NaOH. 1 – необработанный электрод; 2 – образец № 12; 3 – образец № 11. Потенциал электрода: +1,25 В**

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что выход по току феррат-ионов достигается при увеличении содержания кремния в аноде; при температуре 60 °С максимальный выход феррат-ионов по току (64 %) достигается при 16 М NaOH; выход по току феррат – ионов с ростом анодной плотности тока падает со значения 64 % (при 3 мА/см<sup>2</sup>) до значения 42 % (при 15 мА/см<sup>2</sup>); снижение пассивации стального электрода при анодной поляризации в щелочном растворе возможна путем его преполяризации.

### Список литературы:

- 1 Качество поверхностных вод на территории Республики Казахстан за 2014 год / Обзор водного компонента информационного бюллетеня Департамента экологического мониторинга РГП «Казгидромет» «О состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2014 год». – Астана, 2015 г. – 131 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: [http://www.cawater-info.net/water\\_quality\\_in\\_ca/kaz.htm](http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/kaz.htm)
- 2 Wang N. et al. Microfluidic reactors for photocatalytic water purification // Lab on a Chip. – 2014. – Т. 14. – № 6. – С. 1074–1082.
- 3 Bouzek K., Schmidt M.J., Wragg A.A. Influence of electrolyte composition on current yield during ferrate (VI) production by anodic iron dissolution // Electrochemistry communications. – 1999. – Vol. 1. – № 9. – P. 370–374.
- 4 Bouzek K., Roušar I. Influence of anode material on current yields during ferrate (VI) production by anodic iron dissolution Part I: Current efficiency during anodic dissolution of grey cast iron to ferrate (VI) in concentrated alkali hydroxide solutions // Journal of applied electrochemistry. – 1996. – Vol. 26. – № 9. – P. 919–923.
- 5 Bouzek K., Roušar I., Taylor M. A. Influence of anode material on current yield during ferrate (VI) production by anodic iron dissolution Part II: Current efficiency during anodic dissolution of white cast iron to ferrate (VI) in concentrated alkali hydroxide solutions // Journal of applied electrochemistry. – 1996. – Vol. 26. – № 9. – P. 925–931.
- 6 Bouzek K., Roušar I. Influence of anode material on current yield during ferrate (vi) production by anodic iron dissolution: Part III: Current efficiency during anodic dissolution of pure iron to ferrate (vi) in concentrated alkali hydroxide solutions // Journal of applied electrochemistry. – 1997. – Vol. 27. – № 6. – P. 679–684.



### СЕКЦИЯ 3.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЖАРСТОЙКОСТИ И ВЫБОР ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СПЛАВОВ ХРОМА

*Васильев Евгений Викторович*

*младший научный сотрудник  
Тольяттинского государственного университета,  
РФ, г. Тольятти  
E-mail: [avellko@yandex.ru](mailto:avellko@yandex.ru)*

### PROBLEMS OF HEAT-RESISTANCE INCREASING AND PROTECTIVE COATINGS SELECTION FOR CHROMIUM ALLOYS

*Evgenii Vasilev*

*junior Reseacher of Togliatty State University,  
Russia, Togliatty*

#### АННОТАЦИЯ

В статье проведен анализ проблем повышения жаростойкости и выбора защитных покрытий для конструкционных сплавов хрома. Рассмотрены некоторые основы газонасыщения сплавов хрома при высокотемпературной эксплуатации, а также предложены различные способы повышения низкотемпературной пластичности. Сделан вывод о том, что наиболее эффективным методом защиты от газонасыщения является нанесения специальных покрытий, которые позволяют значительно снизить скорость поглощения атмосферных газов

#### ABSTRACT

In this work problems of heat-resistance increasing and protective coatings selection for chromium alloys were analyzed. Certain bases of chromium alloys gassing during high temperature operation, as well as various methods for enhancing the low-temperature ductility are considered.

It was concluded that the most effective method of protection against gas saturation is applying special coatings that can significantly reduce the rate of atmospheric gases absorption.

**Ключевые слова:** жаростойкость; покрытие; сплав хрома; газонасыщение.

**Keywords:** heat-resistance; coating; chromium alloy; gas adsorption.

Максимальные рабочие температуры традиционных жаропрочных никелевых сплавов для лопаток газотурбинных двигателей не превышают 1000–1100° С [1]. При дальнейшем повышении рабочих температур до 1100–1200° С наряду с никелевыми сплавами могли бы использоваться жаропрочные и жаростойкие сплавы на основе хрома [2; 3], преимуществами которых являются: более низкая стоимость, малая плотность, высокая жаропрочность, радиационная стойкость. Длительное время применению хрома в качестве конструкционного материала препятствовала его высокая склонность к хрупкому разрушению. Проведенные различными группами исследования позволили во многом выявить основные механизмы хрупкости и разработать эффективные металлургические приемы и параметры легирования, позволяющие получать пластичные конструкционные сплавы хрома.

Практическое решение данной проблемы позволило перейти к использованию его высокой жаропрочности, что в сочетании с малой плотностью может повысить эффективность работы, например, газотурбинных двигателей.

Однако высокотемпературному использованию пластичных сплавов хрома в немалой степени препятствует его относительно невысокая жаростойкость, что приводит к интенсивному газонасыщению сплавов хрома и резкому повышению температуры перехода в хрупкое состояние.

Согласно ряду исследований низкотемпературная пластичность хрома в главной мере определяется содержанием в нем азота [4], причем массовое его количество, составляющее более  $3 \cdot 10^{-3}\%$ , приводит к резкому охрупчиванию нелегированного хрома и повышению температуры хрупкого перехода на сотни градусов. В связи с этим проблемы обеспечения жаростойкости сплавов хрома прежде всего связаны с исключением повышения в них предельной концентрации азота, как на стадии изготовления, так и при эксплуатации. Учитывая, что растворимость азота в хrome возрастает с ростом температуры и давления азота:

$$\lg C = \frac{1}{2} \lg P(N_2) + 0,1 - 1410/T, \quad (1)$$

где:  $P(N_2)$  – давление азота,

$T$  – температура;

а также, что зависимости упругости диссоциации нитридов хрома имеют

вид:

$$\lg P(N_2) = -11680/T + 5,79 \text{ для Cr} - \text{Cr}_2\text{N}, \quad (2)$$

$$\lg P(N_2) = -10620/T + 8,03 \text{ для Cr} - \text{CrN}. \quad (3)$$

можно сделать вывод о возможности удаления азота из хрома при температурах 1000–1200 °С в вакууме не ниже  $10^{-5}$ ... $10^{-6}$  торр. Естественно, что выдержка хрома в практически любой эксплуатационной среде приводит к глубокому газонасыщению и, как следствие, к понижению эксплуатационных свойств. Последние выражения также указывают на необходимость проведения всех технологических операций переработки хрома в контролируемых средах (вакуум, аргон и др.) с парциальным давлением азота по крайней мере не превышающим для данной температуры своего критического значения, определяющего начало газонасыщения. Учитывая значение коэффициента диффузии азота в хrome при 1100–1300 °С:

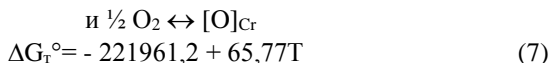
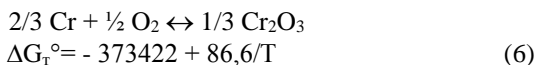
$$D = 1,3 \cdot 10^{-3} e^{\frac{-25600}{T}} \quad (4)$$

определяем, что уже при времени  $\tau=600$  с,  $T=1200$  °С, глубина газонасыщенного слоя составит не менее 8000 мкм. Химическая полировка поверхности хрома на глубину порядка 100 мкм, позволяющая удалить дефектный слой, приводит к понижению температуры хрупкого перехода на 300–500 °С. Столь существенное влияние газонасыщения на основные свойства хрома практически исключает возможность его высокотемпературной эксплуатации даже при кратковременных режимах работы.

Рассмотрим теперь параметры физико-химического высокотемпературного взаимодействия хрома с кислородом. Зависимость предела растворимости кислорода в хrome от температуры имеет вид (для 1110–1500 °С):

$$\lg C_{\max} = 3,09 - 7900/T, \quad (5)$$

Учитывая значения изменения стандартного изобарно-изотермического потенциала определяются по реакциям (1) :



имеем, что переход кислорода из пленки  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  при высоких температурах (более  $1000^\circ\text{C}$ ) невозможен. Однако по другим данным отмечается возможность образования газообразного  $\text{CrO}_3$  из  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  при температурах выше  $1000^\circ\text{C}$ . Механизм взаимодействия кислорода и хрома существенно отличается от таковой реакции последнего с азотом, что связано со значительно большей термодинамической устойчивостью оксида  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  по сравнению с  $\text{Cr}_2\text{N}$  и  $\text{Cr}_2\text{N}$ . В связи с этим, согласно [6] высокотемпературное окисление хрома происходит путем одновременной миграции катионов и анионов через  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  с образованием оксида внутри оксидного слоя. Последнее существенно замедляет глубину проникновения кислорода в хром за счет фазовых реакций, однако возникающие при этом в оксидной пленке сжимающие напряжения, приводят к ее разрушению, отслаиванию и увеличению глубины оксидного слоя. Оксидная пленка не препятствует диффузии азота через нее, что приводит к образованию при отжигах на воздухе под слоем оксида хрома его нитридов и глубокому газонасыщению.

Таким образом, вышеизложенные термодинамические данные указывают на невозможность предотвращения газонасыщения хрома кислородом и азотом без предварительной обработки его поверхности и специального легирования.

Разработанные малолегированные сплавы хрома, а также различные способы их рафинирования на металлургических переделах позволили значительно повысить пластичность материала за счет снижения его чувствительности к элементам внедрения. Однако, легирование не позволяет исключить интенсивного газонасыщения в реальных эксплуатационных средах.

Рассмотрим теперь различные варианты поверхностной обработки сплавов хрома, позволяющие затормозить процессы газонасыщения. Практика химико-термической обработки поверхности показывает возможность применения двух принципиально различных методов: поверхностное легирование с созданием диффузионного слоя заданного фазового и химического состава,

и осаждение на поверхности специального защитного покрытия. Из первой группы методов наиболее приемлемым вариантом может явиться рациональное диффузионное легирование хрома кислородом с целью создания высокоплотной пленки его оксида. (Если при этом будут соблюдены условия физико-химической и термомеханической совместимости оксида и основы, а также будет обеспечена высокая структурная стабильность оксида.) Выше отмечалось, что высокоплотная керамика  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  может явиться эффективным барьером диффузии кислорода при температурах не выше  $\sim 1000^\circ\text{C}$ , поскольку при более высоких температурах может образовываться газообразный оксид  $\text{CrO}_3$ . Оксидная пленка на нелегированном хrome не препятствует диффузии азота, однако возможно оксид  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  на малолегированных сплавах позволит понизить степень газонасыщения, в связи с чем варианты использования данного метода поверхностной обработки не исключаются.

Возможными материалами для высокотемпературных защитных покрытий с рабочей температурой  $\geq 1200^\circ\text{C}$  могут явиться [5; 6] следующие высокотемпературные окислы:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{ZrO}_2$ ;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; сложные кислородные соединения (хромиты):  $\text{LaCrO}_3$ ;  $\text{YCrO}_3$  и др.; металлические покрытия – сплавы  $\text{Hf-Ta}$ ;  $\text{Mo-Re}$ ;  $\text{Mo-Nb}$ ; сложные керметы:  $\text{ZrB}_2$ ;  $\text{Mo-Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{W-B}_2\text{O}$ , покрытия на кремниво-углеродной основе.

Принципиальным недостатком напыления  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ионно-плазменным методом является наличие большого количества капельной фазы (во-первых) и образование плотной защитной пленки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на поверхности алюминиевой капли. Следствием последнего при расплавлении  $\text{Al}$  является разрушение оксидного слоя вследствие термических фазовых напряжений.

В качестве керамического слоя часто применяется диоксид циркония ( $\text{ZrO}_2$ ), имеющий очень низкую теплопроводность и достаточно высокий (для керамики) коэффициент термического расширения. Однако при нагреве выше  $\sim 1170^\circ\text{C}$  в  $\text{ZrO}_2$  происходит переход от моноклинной к тетрагональной структуре, сопровождающийся объемными изменениями в 4–6%, которые могут приводить к отслаиванию керамического слоя от подложки. Исключить такие изменения можно путем сдвига фазового перехода в область более низких температур, вплоть до комнатных, за счет стабилизации тетрагональной фазы в  $\text{ZrO}_2$  при добавках в него  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  и оксидов других редкоземельных элементов. В настоящее время в ТЗП как правило используют  $\text{ZrO}_2$ , частично стабилизированный 6–8% (по массе)  $\text{Y}_2\text{O}_3$ .

Хотя верхний слой из диоксида циркония и обеспечивает прекрасную тепловую защиту, однако служить сколь-нибудь серьезным барьером для переноса кислорода он не способен. Основным назначением металлического связующего слоя, таким образом, является защита подложки от агрессивной внешней среды, так как интенсивное образование оксидов на границе раздела металл-керамика может вызывать отслаивание керамики. Первоначально большинство ТЗП наносили с помощью плазменного напыления на воздухе и при низком давлении, в настоящее же время наиболее распространено физическое осаждение в вакууме.

### Список литературы:

1. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей. – М.: МИСИС, 2001. – 632 с.
2. Симс Ч., Хагель В. Жаропрочные сплавы. Нью-Йорк–Лондон–Сидней–Торонто, 1972. Пер. с англ. М., «Металлургия», 1976. – 568 с., ил.
3. Гончаров В.С., Гончаров М.В., Васильев Е.В. Влияние технологических параметров нанесения иттрий содержащих покрытий на их структуру и свойства // Физика металлов и металловедение. – 2014. – Т. 115. – № 2. – С. 179–185.
4. Гончаров В.С., Васильев Е.В. Жаростойкие покрытия на основе иттрия // Вектор науки тольяттинского государственного университета. – 2013. – № 3 (25). – С. 136–139.
5. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с., ил.
6. Самсонов Г.В. Физико-химические свойства окислов. Справочник. М.: Металлургия, 1978. – 472 с.

## ПАРОВОДЯНАЯ ПЛАЗМЕННАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ НА УСТАНОВКЕ MULTIPLAZ 3500

**Бу Ван Гюи**

*аспирант кафедры машиностроительных технологий и материалов,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
РФ, г. Иркутск  
E-mail: [huy24\\_89@yahoo.com](mailto:huy24_89@yahoo.com)*

**Балановский Андрей Евгеньевич**

*д-р техн. наук, кафедры машиностроительных технологий  
и материалов, доцент иркутского национального исследовательского  
технического университета,  
РФ, г. Иркутск  
E-mail: [fuco.64@mail.ru](mailto:fuco.64@mail.ru)*

## STEAM PLASMA CARBURIZING IN SOLID PHASE FOR THE INSTALLATION MULTIPLAZ 3500

**Vu Van Huy**

*postgraduate at the department of mechanical engineering technologies and  
materials, Irkutsk National Research Technical University,  
Russia, Irkutsk*

**Andrey Balanovskiy**

*doctor of sciences, associate professor at the department of mechanical  
engineering technologies and materials,  
Irkutsk National Research Technical University,  
Russia, Irkutsk*

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрена методика выполнения плазменной цементации в твердой фазе с использованием паст и последовательность изготовления коллоидного графитового раствора для процесса цементации. Уточнен механизм диффузии углерода в твердой фазе.

## ABSTRACT

The method of performing plasma carburizing in solid phase using pastes and manufacturing consistency of graphite colloidal solution for the process of carburizing. Clarifying the mechanism of carbon diffusion in the solid phase.

**Ключевые слова:** плазменное упрочнение металлов; паста; цементация; диффузия; микротвердости.

**Keywords:** plasma hardening metal; paste; diffusion; carburizing; micro hardness.

На сегодняшний день плазменное поверхностное упрочнение широко используются для повышения износостойкости поверхности деталей, в том числе метод плазменной цементации в твердой фазе с использованием паст недостаточно изучен.

В данной работе рассмотрены особенности механизма диффузии углерода в процессе пароводяной плазменной цементации в твердой фазе. Эксперимент заключается в том, что на образец из стали 3 наносилось покрытие, состоящее из графита (98–99 %), жидкого стекла. После сушки образец подвергается нагреву пароводяной плазмой на установке Multiplaz 3500 до температуры 900–1000°C в течении 0,1–1 сек и закалке. Пароводяная плазма привлекла широкое внимание в связи с ее уникальными преимуществами по энтальпии теплового потока, экологичности. Высокая энтальпия повышает кинетику реакции, химическую реактивность реагентов, и обеспечивает получение большого количества углерода в виде атома из плазмы дугового разряда, в то время как при всех процессах сжигания остается в твердом остатке до 30 % углерода (в процессе цементации газом).

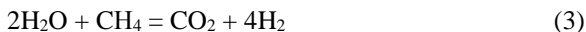
Сущность метода заключается в том, что после возникновения электрической дуги в плазматроне энергия от дуги разогревает сопло, сопло разогревает испаритель, испаритель разогревает спирт и воду, превращая их в пар. Пар под действием внутреннего давления (0,4–1,2 атм) в сопле устремляется к выходному отверстию. Выходя из отверстия в сопле, пар сжимает электрическую дугу. Это приводит к повышению температуры дуги. При достаточно высокой температуре происходит процесс диссоциации спирта и ионизации.

На начальном этапе спирт диссоциирует до водорода и монооксида углерода, метана. Далее идет процесс окисление CO, образуется углекислый газ





На следующем этапе происходит восстановление воды



При температуре больше  $800^\circ\text{C}$  реакция (2) смещена влево, образуется монооксид углерода и вода. В рассматриваемой газовой смеси помимо реакций (1,2,3) происходят и другие химические взаимодействия.



При температуре в плазме  $3000^\circ\text{C}$  вода диссоциирует, образуются  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{OH}$ . Диссоциация водяного пара может быть выражена уравнениями:



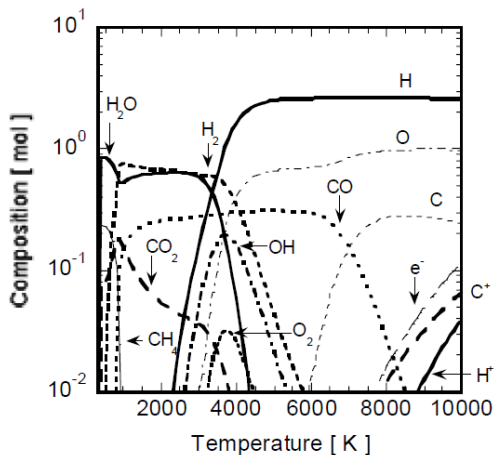
При температуре  $6000^\circ\text{C}$  окись углерода разлагается на углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) и углерод, образующийся в виде атомов (атомарный углерод):



На поверхности образца углерод соединяется с кислородом и образуется окись углерода ( $\text{CO}$ ).



Для определения концентрации и состав продуктов диссоциации авторы [5] построили равновесную схему для смеси спирта с водой в паровой плазме. Диаграмма диссоциации приведена на рисунке 1 [5].



**Рисунок 1. Равновесная схема для смеси 15,5 моль% этанола и 84,5 % мол – вода**

Атомный углерод, образуя из реакций (7) и углерод расположен на поверхности образца под действием градиент температуры, концентрации и давления растворяются в  $\gamma$  – железе по закону Фика. Уравнение диффузии углерода по времени для нестационарного состояния потока описывается вторым законом Фика

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad (10)$$

где:  $c$  – концентрация диффундирующего вещества

$x$  – координата

$D$  – коэффициент диффузии ( $\text{см}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$ )

При короткой продолжительности процесса можно считать концентрацию углерода на поверхности  $c_0$  постоянной, тогда концентрация в точке  $x$  со временем изменяется в соответствии с выражением

$$c(x, t) = c_0 \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (11)$$

**Методика выполнения экспериментов.** Плазменную цементацию проводили на стали 3. Химический состав материала СтЗпс в процентах ГОСТ 380-2005 (табл. 1).

*Таблица 1.*

**Химический состав материала СтЗпс в процентах**

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>S</b>	<b>P</b>
0.14–0.22	0.05–0.15	0.4–0.65	до 0.3	до 0.05	до 0.04

Экспериментальная часть работы состояла из нескольких этапов:

- подготовка поверхности детали (очистка поверхности до металлического блеска);
- нанесение покрытия;
- плазменная поверхностная цементация;
- подготовка металлографических шлифов, измерение микротвердости.

В качестве твердого покрытия для цементации использовали пасту следующего состава: графит, жидкое стекло, вода, масло. Стекло растворяется в воде и после сушки образуется коллоидный раствор, масло способствует перемешиванию графита с полученного раствора. Порядок подготовки графитового покрытия:

- Смешиваем воду с жидкого стекла с отношением по объему 1:10;
- Добавляем масло в раствор (объем равен объему жидкого стекла) и смешиваем на минуту;
- Добавляем графит до получения пастообразный раствора;
- Наносим полученный раствор на поверхность детали кисточкой;
- Сушка образцов в печи или газовой горелкой при температуре 50°C, в течение 30 мин.

На рис. 1 представлен зачищенный образец после нанесения графитового покрытия.



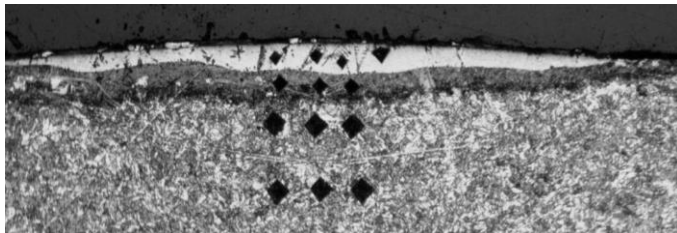
*Рисунок 1. Образец с графитовым покрытием*

Плазматрон закреплялся на штативе, оснащенном зажимными устройствами, что позволяет менять угол и длину дугового промежутка относительно поверхности. Штатив закреплен на столике. Столик оснащен специальными прижимными элементами для закрепления на нем заранее приготовленных фрагментов образцов. Движение столика осуществляется с помощью электрического привода, который работает от источника питания 24 В. Регулирование скорости передвижения столика осуществляется с помощью потенциометра. Потенциометр создает сопротивление и снижает напряжение, а соответственно и скорость движения столика. Скорость передвижения столика составляет от 5,4 до 39,6 м/ч.

Режимы плазменной цементации: погонная энергия составляла 1,2–1,5 кВт\*с/мм, зазор между соплом и деталью 5 мм. В качестве плазмообразующего вещества используется этиловый спирт 90 %. Для подготовки и изучения микрошлифов использовалось следующее оборудование: автоматический отрезной станок Полилаб Р100А для резки металлографических и петрографических образцов. Для запрессовки образцов использовался пресс «Полилаб С50А». Пресс «Полилаб С50А» предназначен для запрессовки металлографических образцов с использованием любых видов термопластичных и термоотверждающихся смол. Для полировки поверхности микрошлифов использовался шлифовально-полировальный станок «Полилаб П12М». Микротвердость измеряется на приборе ПМТ-3.

#### **Результаты экспериментов и обсуждение результатов.**

В процессе плазменного упрочнения с использованием спирта на поверхности металла не было следов оплавления. Но из недостаточного количества углерода образующегося в процессе диссоциации микро твердость по Виккерсу в этих зонах составила 5000–6000 МПа (при нагрузке 2Н). Нанесение дополнительно углеродосодержащей пасты на поверхность образцов увеличивает количество углерода в пятне нагрева (участок), что позволяет получить твердость в поверхностном слое 7000–9000 МПа. После травления шлифов под микроскопом наблюдается цементированный слой глубиной 10–70 мкм в виде белого не травящегося слоя (Рис. 2, 3), которая имеет высокую микро твердость 8000–9000 МПа (при нагрузке 2Н). На рис. 2 не травящиеся белые слои располагаются по ширине дорожки упрочненного слоя. На рис. 3 представлены результаты исследования при большем увеличении и приведены замеры микротвердости. Видно, что отпечатки в белой зоне (цементированном слое) меньше, чем в закаленном слое.



*Рисунок 2. Микроструктура стали Ст3 после цементации с увеличением 100 раз*



*Рисунок 3. Микроструктура стали Ст3 после цементации с увеличением 400 раз*



*Рисунок 4. Микротвёрдости стали Ст3 по глубине после цементации при нагрузке  $P = 2H$*

Распределение микротвёрдости в стали 3 по глубине упроченной поверхности приведено на рис. 4. Видно, что в тонком поверхностном слое значения микро твёрдости максимальные.

Таким образом, проведенные эксперименты доказали возможность плазменной поверхностной цементации низкоуглеродистых сталей, как в режиме оплавления поверхности (из жидкой фазы) так и без оплавления поверхности. Показано, что за время плазменного нагрева (от доли секунд и выше) углерод диффундирует в  $\gamma$  – железо на глубину примерно 100 мкм. Пароводяная плазма дает хороший эффект для ускорения процесса цементации, а коэффициент диффузии углерода в  $\gamma$  – железе в плазменном разряде намного больше при других процессах цементации.

### **Список литературы:**

1. Балановский А.Е. Плазменное поверхностное упрочнение металлов. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. – 180 с.
2. Болховитинов Н.Ф. Металловедение и термическая обработка. М.: Машиностроение, 1965, – 505 с.
3. Бердников А.А, Филиппов М.А. Студенок Е.С. Структура закаленных углеродистых сталей после плазменного поверхностного нагрева // Металловедение и термического обработка металлов, – 1997. – № 6. – С. 2–4.
4. Чудина О.В. Комбинированные методы поверхностного упрочнения сталей с применением лазерного нагрева. Теория и технология. М.: МАДИ (ГТУ), 2003, – 248 с.
5. Shigehiro Shimbara, Takayuki Watanabe. Water Plasma Generation under Atmospheric Pressure for Waste Treatment // Ref. Proceedings of Regional Symposium on Chemical Engineering – 2003. – Vol. 7. – P. 1–6.

## **РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ КРИПТОГРАФИЧЕСКИ СТОЙКОГО ГЕНЕРАТОРА BLUM-BLUM-SHUB**

***Выборнова Юлия Дмитриевна***

*аспирант Самарского государственного аэрокосмического  
университета имени академика С.П. Королева,*

*РФ, г. Самара*

*Email: [vybornovamail@gmail.com](mailto:vybornovamail@gmail.com)*

## RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF CRYPTOGRAPHICALLY SECURE PSEUDORANDOM BLUM-BLUM-SHUB GENERATOR

*Yuliya Vybornova*

*post-graduate student, Samara State Aerospace University,  
Russia, Samara*

### АННОТАЦИЯ

Объектом исследования является криптографически стойкий генератор псевдослучайных последовательностей Blum-Blum-Shub. Цель работы – реализация генератора псевдослучайных последовательностей с помощью двух различных прикладных криптографических библиотек языка программирования C++ и сравнение основных характеристик полученных программных модулей. В работе проведен анализ основных характеристик полученного генератора: производительности и потребления оперативной памяти при генерации последовательностей большой длины. Сформированы выводы о границах применения полученных реализаций генератора.

### ABSTRACT

The object of this research is a cryptographically secure pseudorandom number generator called Blum-Blum-Shub generator. The main objective is implementation of pseudorandom number generator using two different C++ applied cryptography libraries and comparison of software modules characteristics. The paper analyzes the main characteristics of the resulting generator: performance and memory consumption in case of generating long sequences. Application area of both implementations was defined.

**Ключевые слова:** псевдослучайные последовательности; генератор бинарных последовательностей; большие числа; скорость алгоритма; потребление памяти.

**Keywords:** binary sequences; pseudorandom number generator; big integers; algorithm speed; memory consumption.

### Реализация генератора.

Генераторы псевдослучайных последовательностей – это алгоритмы, которые используют математические формулы или предварительно вычисленные таблицы, чтобы породить последовательности псевдослучайных чисел [1, с. 815–816].

В 1986 году Ленор Блум, Мануэль Блум и Майкл Шуб опубликовали алгоритм, который впоследствии получил название

генератора Blum-Blum-Shub. Генератор основан на операции возведения в квадрат в кольце вычетов по модулю большого числа  $N$ , где  $N = P \times Q$ , при условии, что  $P$  и  $Q$  – простые числа равной длины, сравнимые с 3 по модулю 4 [2, с. 367–368].

Операции с целыми числами большой длины являются наиболее ресурсоемкими и сложными с точки зрения алгоритмов в генераторе Blum-Blum-Shub, поэтому важным этапом при реализации данного генератора является выбор подходящей программной библиотеки, реализующей такие операции.

В результате исследования были программно реализованы две версии данного генератора, в которых программный код был идентичен, за исключением программного кода вызова библиотек прикладных функций для работы с большими целыми числами.

Для реализации первой версии программного генератора Blum-Blum-Shub было решено использовать библиотеку Crypto++ [3].

Для реализации второй версии программного генератора Blum-Blum-Shub использовалась библиотека MPIR (The Multiple Precision Integers and Rationals Library) [4].

Также для детального рассмотрения была выбрана одна из существующих реализаций исследуемого генератора – реализация Ника Галбрета 2005 года [5]. Реализация представляет собой библиотеку на языке программирования Java.

Исследование характеристик генератора Blum-Blum-Shub

Три реализации исследуемого генератора были протестированы на трех различных операционных системах семейства Windows: Windows 7 Home Basic (64-битная), Windows 8 Professional (32-битная), Windows Vista Ultimate (32-битная). Windows 7 является основной операционной системой персонального компьютера, на котором проводилось исследование, а Windows 8 и Windows Vista запускались с помощью виртуальной машины Oracle VM VirtualBox. Основные характеристики персонального компьютера: двухядерный процессор Intel Pentium P6100, тактовая частота каждого ядра 2 ГГц, объем оперативной памяти 3 Гб.

Результаты представлены в таблицах 1–3.



*Таблица 1.*

**Среднее время выполнения программы при генерации 1 миллиона бит псевдослучайной последовательности, [с]**

Реализация / Операционная система	Java	C++, Crypto++	C++, MPIR
Windows 7	5,656	87,442	35,642
Windows 8	27,437	151,862	47,264
Windows Vista	21,374	94,424	38,399

*Таблица 2.*

**Средняя скорость потока при генерации 1 миллиона бит псевдослучайной последовательности, [бит/с]**

Реализация / Операционная система	Java	C++, Crypto++	C++, MPIR
Windows 7	188279,631	11461,812	28226,993
Windows 8	37118,510	6594,147	21251,284
Windows Vista	47831,430	10615,840	26182,505

*Таблица 3.*

**Средний объем потребляемой оперативной памяти при генерации 1 миллиона бит псевдослучайной последовательности, [Кбайт]**

Реализация / Операционная система	Java	C++, Crypto++	C++, MPIR
Windows 7	42149,6	3298,0	51313,6
Windows 8	1461,8	2412,0	50728,0
Windows Vista	1195,6	352,8	47595,2

Исходя из результатов тестирования двух рассмотренных генераторов, можно сделать вывод, что самой быстрой является реализация генератора Blum-Blum-Shub на языке программирования Java. Однако следует обратить внимание на наличие внешней зависимости и ненормированное потребление памяти. В данном случае преимущество по скорости не играет роли, так как для того чтобы

изменить границы применения генератора, необходимо увеличить его скорость в 1000 раз и более, а в данном случае реализация на языке программирования Java быстрее других реализаций не более, чем в 16 раз.

Реализация на основе библиотеки MPIR также обладает высокой скоростью, но как и реализация на языке программирования Java имеет ненормированное потребление памяти, поэтому трудно предсказать поведение данной программы при генерации очень больших последовательностей (1 гигабайт и более). Для запуска данной реализации требуется наличие динамической библиотеки `mpir.dll`. Данная библиотека не требует установки и почти не занимает места на диске, поэтому такая зависимость не является недостатком.

Реализация на основе библиотеки `Crypto++` является самой медленной и для генерации очень больших последовательностей потребуются колоссальное количество времени. Но зато данная программа отличается стабильным потреблением памяти и отсутствием каких-либо внешних зависимостей.

Средняя скорость работы всех перечисленных выше реализаций генератора Blum-Blum-Shub во много раз ниже средней скорости современных симметричных алгоритмов блочного шифрования. Из этого следует, что исследуемый генератор неприменим для генерации гаммы в шифрах гаммирования, но может использоваться для генерации данных в системах и протоколах, где скорость генерации не играет роли. Например, для генерации ключей в асимметричных системах, в качестве генератора ключей для имитовставки, а также в реализациях криптографических протоколов аутентификации и шифрования.

### **Заключение.**

Таким образом, если стоит вопрос об экономии времени, необходимо применять программную реализацию на основе теоретико-числовой библиотеки MPIR. Если же приоритетным требованием является экономия памяти, то следует выбрать программную реализацию на основе криптографической библиотеки `Crypto++`.

### **Список литературы:**

- 1 Neil J. Salkind. Encyclopedia of Measurement and Statistics. Sage Publications, 2007.
- 2 Blum L., M. Blum and M. Shub. A Simple Unpredictable Pseudo-Random Number Generator. Proceedings, SIAM Journal on Computing, May 1986.
- 3 `Crypto++`. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <http://www.cryptopp.com/> (дата обращения: 21.09.2015).

- 4 The Multiple Precision Integers and Rationals Library. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <http://mpir.org/> (дата обращения: 16.10.2015).
- 5 A collection of random number generators in java. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <https://code.google.com/p/javarnrg/> (дата обращения: 19.10.2015).

**АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ  
ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ ВЫБОРА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

***Гладышева Мария Михайловна***

*доцент каф. вычислительной техники и программирования  
института энергетики и автоматизированных систем  
ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»,  
РФ, г. Магнитогорск  
E-mail: [mar.ser.ksuh@gmail.com](mailto:mar.ser.ksuh@gmail.com)*

***Сухачева Евгения Константиновна***

*студент 2 курса института энергетики и автоматизированных  
систем ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»,  
РФ, г. Магнитогорск*

***Хатюшина Татьяна Владимировна***

*студент 2 курса института энергетики и автоматизированных  
систем ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»,  
РФ, г. Магнитогорск*

## ANALYSIS AND COMPARISON OF EXISTING SOFTWARE PRODUCTS FOR SOFTWARE DEVELOPMENT AUTOMATED SYSTEMS FOR SELECTION OF CABLE LINES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

*Maria Gladisheva*

*candidate of Science, assistant professor of computer science and programming, Magnitogorsk State Technical University im. G.I. Nosov, Russia, Magnitogorsk*

*Evgenia Suhachova*

*2th year student of the Institute of Energy and automated systems, Magnitogorsk State Technical University im. G.I. Nosov, Russia, Magnitogorsk*

*Tatayna Hatushina*

*2th year student of the Institute of Energy and automated systems, Magnitogorsk State Technical University im. G.I. Nosov, Russia, Magnitogorsk*

### АННОТАЦИЯ

В статье приводится обзор и анализ программных продуктов в сфере электроснабжения, их достоинства и недостатки, с целью разработки нового программного обеспечения для выбора кабельных линий промышленных предприятий.

### ABSTRACT

The article provides an overview and analysis of software products in the field of electricity, their strengths and weaknesses, in order to develop new software for the selection of cable lines of industrial enterprises.

**Ключевые слова:** кабельные линии; промышленные предприятия; программный продукт; программное обеспечение; электроснабжение.

**Keywords:** cable lines, industry; software; software; power supply.

В наше время довольно трудно представить себе город, поселок, дачный участок, в котором бы не было электричества. Современные люди настолько привыкли к различным бытовым приборам, электрооборудованию, да и просто свету и теплу, что отсутствие электричества даже на короткий промежуток времени вызывает неудобства и проблемы. Если в городе, конкретном микрорайоне,

поселке, промышленном объекте нет своей электростанции, то для организации электроснабжения их следует подключить к энергетическим сетям, чтобы обеспечить дальнейшее распределение электроэнергии. Такие присоединения выполняются при помощи линий электропередач – выходящих за пределы определенных электростанций линии электрической сети, системы энергетического оборудования. Для обеспечения эффективного электроснабжения используются воздушные и кабельные линии электропередач. В связи с этим актуальность проблем связанных с правильным расчетом и выбором сечений и материалов кабельных линии не вызывает сомнений [2].

Для повышения эффективности расчета характеристик кабельных линий и удобное хранения информации возникает вопрос о разработки программного обеспечения автоматизированной системы для выбора кабельных линий промышленных предприятий. Проблема выбора сечения и материала кабелей стоит практически перед всеми организациями и предприятиями, поэтому на рынке программного обеспечения представлено большое количество программ для решения такого рода задач. Рассмотрим некоторые из них.

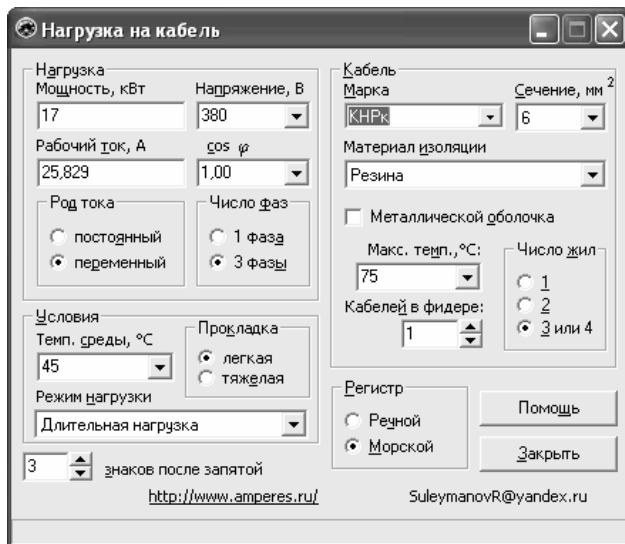
#### **“CaclSec”**

Программа “CaclSec” подбирает кабели и провода по нагрузке и, наоборот, рассчитывает нагрузку в зависимости от различных факторов: марка кабеля; материал изоляции; максимально допустимая температура проводящей жилы; металлическая оболочка; число жил; число кабелей в фидере; температура окружающей среды; способ прокладки; режим нагрузки; сечение. Кроме того, нагрузки могут рассчитываться как по правилам классификации и постройки судов морского, так и речного регистров. Нагрузка может задаваться как токовая, так и по мощности.

В зависимости от марки кабеля определяется максимально допустимая температура проводящей жилы, требуемая для расчета нагрузок или сечения жилы кабеля. Если марка кабеля не определена, то максимально допустимая температура жилы кабеля определяется исходя из материала кабеля или провода. Для каждой марки кабеля установлена своя максимальная температура жилы.

Главное окно программы представлен на рисунке 1.

На панели «Нагрузка» рассчитывается мощность и величина тока в зависимости друг от друга, а также различных параметров: напряжения, коэффициента мощности, рода тока и фазности.



**Рисунок 1. Главное окно программы “CablSec”**

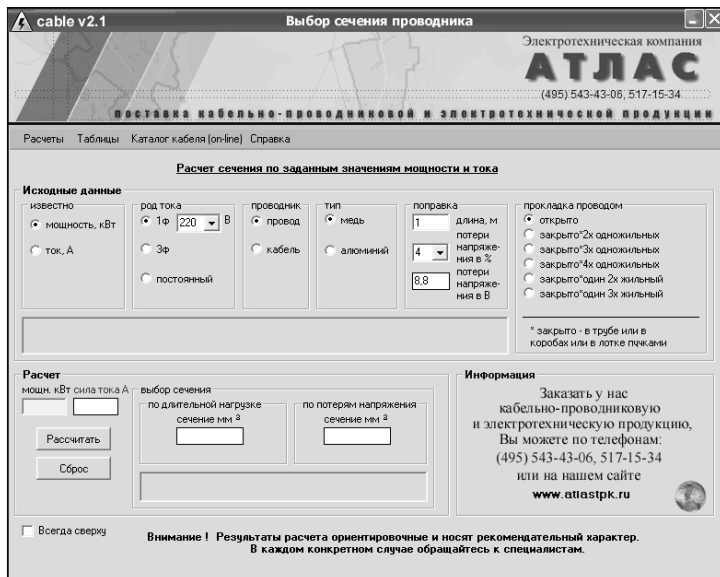
При работе с программой следует задать, по каким Правилам будет вестись расчет нагрузок, в зависимости от того под какой Регистр подпадает судно, кабели и провода, на котором вы желаете рассчитать. В целом, токовые нагрузки не сильно будут различаться в зависимости от «Правил...», по которым они будут рассчитываться [3].

### **“Cable v2.1”**

Полностью бесплатная программа (калькулятор) для расчета сечения провода и кабеля по мощности и длине. Программа позволяет: рассчитать сечение проводника (кабеля или провода) по заданным значениям мощности и тока; рассчитать ток и мощность по сечению проводника и выбор соответствующих автомата защиты и УЗО.

Все расчеты ведутся с учетом условий прокладки кабеля и возможных потерь на длине проводника на основе данных ПУЭ. Кроме того, в новой версии 2.1 программы добавлены некоторые популярные таблицы на основе данных ПУЭ: выбора мощности, тока и сечения проводника для медной и алюминиевой жилы; выбора сечения проводника, тока, максимальной мощности нагрузки и токовых характеристик автомата защиты (соответствия сечения току автомата защиты); токовой нагрузки на провода и шнуры.

Главное окно программы представлен на рисунке 2.



**Рисунок 2. Главное окно программы «Cable v2.1»**

### **Расчет электрических нагрузок жилых домов и летних домиков садовых товариществ v.1.0.0**

Программа предназначена для расчета электрических нагрузок жилых домов и летних домиков садовых товариществ. Исходными данными для расчета являются: количество квартир (от 0 до 1000); тип квартир (с плитами на природном газе, на сжиженном газе, с электрическими плитами, летние домики); количество лифтов; мощность одного лифта; этажность жилого дома (до 12, свыше 12 этажей). Результаты расчетов: удельная нагрузка на квартиру (кВт); коэффициент спроса для лифтов; удельная нагрузка на лифт (кВт); нагрузка квартир дома (кВт); нагрузка лифтов дома (кВт); нагрузка всего дома (кВт) [1].

Главное окно программы представлен на рисунке 3.

Расчет нагрузок

СП-31-110-2003    Помощь

Нагрузка квартир

Количество квартир:

С плитами на природном газе (в зданиях по типовым проектам)  
 С плитами на сжиженном газе (в т.ч. при групповых установках и на твердом топливе)  
 С электрическими плитами мощностью 8,5кВт  
 Летние домики на участках садовых товариществ

---

Нагрузка лифтов

Количество лифтов:

Мощность 1-го лифта:  кВт

Этажей:  до 12     12 и свыше

---

ИТОГИ:

Удельная нагрузка на квартиру:	0.0000	кВт	Нагрузка квартир:	0.0000	кВт
Коеф. спроса для лифтов:	0.0000		Нагрузка лифтов:	0.0000	кВт
Удельная нагрузка на лифт:	0.0000	кВт			
			ВСЕГО:	0.0000	кВт

**Рисунок 3. Главное окно программы «Расчет электрических нагрузок жилых домов и летних домиков садовых товариществ v.1.0.0»**

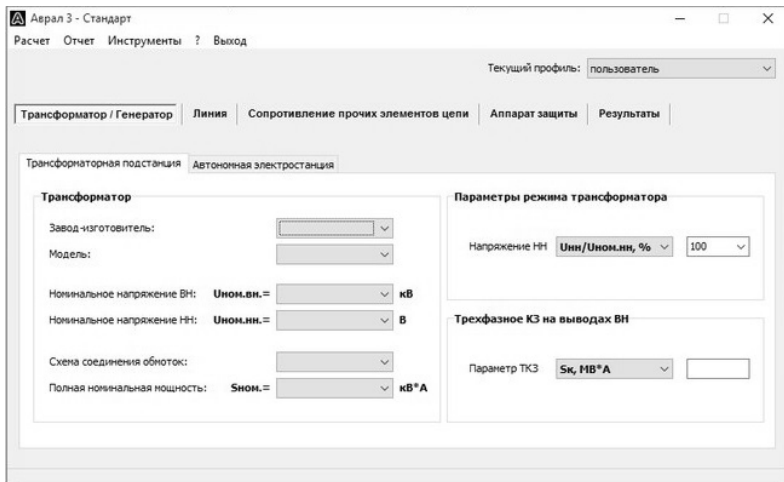
### **АВРАЛ ver.3.0.1**

Программа «Аврал» разработана для расчета токов короткого замыкания (КЗ) в электрических сетях до 1000 Вт и предназначена для использования проектировщиками сетей электроснабжения, а также эксплуатирующим персоналом сетей. Программа позволяет произвести расчет периодической и аperiodической составляющей тока, ударного тока, термически эквивалентного тока для всех видов КЗ, а также проверить аппараты защиты на отключение минимального тока короткого замыкания [1].

Главное окно программы представлен на рисунке 4.

Проанализировав данные программные продукты, были выявлены достоинства и недостатки (таблица 1).





**Рисунок 4. Главное окно программы «АВРАЛ ver.3.0.1»**

**Таблица 1.**

**Достоинства и недостатки аналогов программы**

Название программного продукта	Достоинства	Недостатки
CaclSec	<ul style="list-style-type: none"> <li>– большое количество характеристик для кабельных линий;</li> <li>– удобный и компактный интерфейс;</li> <li>– отсутствие рекламы.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– направленность на судостроительство;</li> <li>– отсутствие формул и таблиц для расчетов;</li> <li>– отсутствие возможности сохранять результат;</li> <li>– отсутствие возможности заполнения полей с помощью загрузки.</li> </ul>
Cable v2.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– большое количество характеристик для кабельных линий;</li> <li>– наличие каталога кабелей.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– наличие рекламы;</li> <li>– отсутствие формул и таблиц для расчетов;</li> <li>– отсутствие возможности сохранять результат;</li> <li>– отсутствие возможности заполнения полей с помощью загрузки;</li> <li>– неудобный интерфейс.</li> </ul>

Расчет электрических нагрузок жилых домов и летних домиков садовых товариществ v.1.0.0	– удобный и компактный интерфейс; – отсутствие рекламы; – бесплатная лицензия на программу.	– отсутствие возможности сохранять результат; – отсутствие возможности заполнения полей с помощью загрузки. – программа предназначена конкретно для садовых товариществ.
АВРАЛ ver.3.0.1	– простота в освоении и использовании; – подробная справка с описанием всех возможностей программы, а также пример расчёта; – большая база данных сопротивлений трансформаторов, генераторов, линий (кабель, СИП, шинопровод, воздушная линия); – возможность формирования пользовательской базы данных оборудования; – возможность сохранения и экспорта результатов расчета.	– нет возможности выбрать тип выключателя; – программа не считает, за какое время произойдет срабатывание защиты; – полная версия программы является платной.

Таким образом, существующее программное обеспечение ряд недостатков, в связи с чем разработка программного обеспечения для выбора кабельных линий промышленных предприятий является актуальной.

### Список литературы:

1. Блокнот проектировщика (электрика и связь). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <http://energybk.ucoz.ru/publ/7-1-0-2>.
2. Кондрашова Ю.Н., Газизова О.В., Гладышева М.М., Галлиулин И.М. Исследование влияния ввода в работу перспективной воздушной линии на режимы промышленного энергетического узла // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014, – № 4-2(23). – С. 35–37.
3. Энерго-софт: полезная информация. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: [http://energsoft.info/soft\\_electrotex\\_191\\_200.html](http://energsoft.info/soft_electrotex_191_200.html).

## АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ SECURITY AS A SERVICE В СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЯХ

**Глухова Татьяна Васильевна**

*канд. экон. наук, доцент,  
исполняющий обязанности заведующего кафедрой экономики  
Мордовского Гуманитарного Института,  
РФ, г. Саранск  
E-mail: [asptg2004@mail.ru](mailto:asptg2004@mail.ru)*

**Горина Екатерина Вячеславовна**

*студент,  
Мордовский Государственный Университет им. Н.П. Огарева,  
РФ, г. Саранск  
E-mail: [gorina-katya@mail.ru](mailto:gorina-katya@mail.ru)*

**Ручина Ольга Михайловна**

*студент,  
Мордовский Государственный Университет им. Н.П. Огарева,  
РФ, г. Саранск  
E-mail: [olgaruc@mail.ru](mailto:olgaruc@mail.ru)*

## THE RELEVANCE OF THE USE OF THE "SECURITY AS A SERVICE" IN TODAY'S REALITIES

**Tatiana Glukhova**

*candidate of economic Sciences, associate Professor, acting head  
of the Department of Economics, Ogarev Mordovia State University  
Russia, Saransk*

**Ekaterina Gorina**

*student, Ogarev Mordovia State University  
Russia, Saransk*

**Olga Ruchina**

*student, Ogarev Mordovia State University  
Russia, Saransk*

## АННОТАЦИЯ

Рассматривается полезность применения облачных вычислений, изучены рост облачного рынка России и рост рынка предоставления SaaS-услуг (Software as a Service), актуальные проблемы, касающиеся области безопасности и надежности услуг. Рассмотрена и проанализирована новая услуга, предоставляемая сервис-провайдером – Security as a Service (SECaaS), выявлены функционал услуги, достоинства, опасения пользователей касательно внедрения услуги SECaaS. Представлены возможные перспективы на будущее, сделан прогноз до 2018 года.

## ABSTRACT

Consider the usefulness of cloud computing, cloud studied the growth of the Russian market and the market growth of SaaS-services (Software as a Service), topical issues relating to the safety and reliability of services. Reviewed and analyzed the new service provided by the service provider – Security as a Service (SECaaS), revealed a functional service, dignity, concerns regarding the implementation of user services SECaaS. Presents the possible prospects for the future, made a forecast until 2018.

**Ключевые слова:** облачные технологии; SaaS; SECaaS; провайдер; ИТ-рынок; облако; антивирус; услуга; антиспам.

**Keywords:** cloud technology; SaaS; SECaaS; provider; the IT market; the cloud; antivirus; service; antis spam.

Облачные технологии стали возможны благодаря бурному развитию аппаратного обеспечения: мощность процессоров растут день ото дня, развивается многоядерная архитектура и объемы жестких дисков. Да и интернет-каналы стали намного шире и быстрее.

То есть, облако – это не сам Интернет, а весь тот набор аппаратного и программного обеспечения, который обеспечивает обработку и исполнение клиентских заявок.

Сейчас сложно найти программиста или даже рядового пользователя ПК, кто никогда не слышал бы об облачных технологиях (англ. Cloud computing). И это неудивительно, поскольку такие технологии уже не только применяются в мировых сферах бизнеса, но и пользуются большой популярностью в нашей стране. Для того чтобы представить, что такое cloud computing: раньше пользователь для доступа в электронную почту прибегал к определенному ПО, установленному на его ПК, теперь же он просто заходит на сайт той компании, чьи услуги электронной почты ему нравятся, непосредственно через браузер, без использования посредников [4].

Современный бизнес диктует свои правила, и многие бизнесмены осознали, что такие технологии несут достаточно крупные выгоды (в их числе, например, снижение затрат и гибкость к изменениям на рынке) и стали активно использовать «облако». Если есть заинтересованные лица – то обязательно поступит большое количество предложений. В России рост облачного рынка опережает общемировой уровень: по прогнозам IDC, отечественный рынок облачных услуг будет расти гораздо быстрее, чем ИТ-рынок в целом, и к концу 2016 года объем этого сегмента составит более 460 млн. долл., а среднегодовой темп роста – более 50 % [2].

Облачные вычисления породили такое явление как SaaS (Software as a Service) – бизнес-модель продажи и использования ПО, когда поставщик разрабатывает приложение и сам управляет им, предоставляя заказчику доступ к ПО через сеть Интернет. Среди облачных сервисов SaaS-услуги пользуются наибольшим спросом у российских пользователей – в 2009 году этот сегмент занимал 94 % рынка (\$ 4,5 млн.). К 2016 году российский рынок бизнес-приложений достигнет 28 млрд. руб. (\$ 882 млн.), демонстрируя средний годовой темп роста в 57 % [7].

Однако все это не говорит о том, что при помощи внедрений облака были решены все проблемы. В частности – проблем безопасности и надежности услуг. На сегодня у потребителей достаточно большой выбор различных сервисов, в числе которых можно выделить «Безопасность как сервис» (SECaaS, Security As A Service) – это бизнес-модель, построенная таким образом, что крупный сервис-провайдер предоставляет интеграцию всех имеющихся сервисов безопасности в единую корпоративную инфраструктуру, что экономически более выгодно и эффективно, нежели большинство индивидуальных фирм или корпораций предоставят их самостоятельно с учетом совокупной стоимости данных сервисов [8].

Обобщая все вышеперечисленное, определим, что это модель управления безопасностью, которая является частью SaaS. SECaaS занимается переводом на аутсорсинг провайдеру возникающих проблем (антивирусы, спам-фильтры и т. п.) или же передачу в частное облако самой компании, но кроме всего этого SECaaS обозначает контроль безопасности предприятия, который осуществляет сторонняя организация. Система на первый взгляд сложная и многоярусная, но предприятия все чаще предпочитают именно облака в качестве замены традиционным способам осуществления безопасности.

Одна из основных задач, наряду с повышением продаж и качества обслуживания, любого предприятия – увеличение прибыли. На этом фоне передача проблем, связанных с аппаратным

и программным обеспечением, а так же уменьшение числа сотрудников, отвечающих за данную работу, будет только на руку предприятиям. Использование облачных вычислений будет не только более полезным, но и куда более гибким: уходит необходимость каждый год приобретать лицензионное ПО, оплата идет прямо пропорционально реальному объему использования ПО (метод подписки на сервис). Кроме того отсутствует «привязка» клиента к конкретному производителю, поскольку используется централизованное управление решениями от разных производителей.

Преимуществами SECaaS являются:

- Стабильные обновления вирусных баз, которые не зависят от грамотности пользователя;
- Уровень безопасности экспертизы гораздо выше, чем у обычно существующей экспертизы в рамках конкретной организации;
- Более быстрая управляемость учетными записями пользователей;
- Аутсорсинг административных задач (например, таких, как управление журналом) позволяет снизить расходы времени и материальных ресурсов компании, а также предоставляет возможность уделять больше времени ее основной компетенции;
- Веб-интерфейс на одинаково высоком уровне используется и в администрировании конкретных задач, и в обеспечении безопасности окружающей среды и текущей деятельности [7].

Сама услуга не слишком сложна в исполнении. Весь трафик заказчиков идет в облако, где проходит тщательную фильтрацию по базам данных. Пользователь не устанавливает никакого стороннего программного обеспечения, поскольку это все оформляется в виде подписки на обновления пополняющихся «черных» списков вредоносных URL и IP, сигнатур спама.

К основным сервисам, что предоставляет SECaaS относят следующее:

- Антиспам-защита
- Антивирусная защита
- Защита от атак типа «отказ в обслуживании» (DoS/DDoS)
- Оценка безопасности
- Защита мобильных устройств (поддержка IOS / Android)
- Управление, обнаружение и предотвращение вторжений [5] [1].

Кроме основных сервисов услуга может предоставить и дополнительные, к которым можно отнести:

- Шифрование данных

- Непрерывность бизнеса и восстановление после катастроф (предотвращение потери данных)
- Управление событиями информационной безопасности
- Управление учетными записями и доступом
- Предотвращение утечек данных (DLP)

Одним из самых важных сервисов является антивирусная защита. Кардинально новых решений нет. Когда клиент покупает нужное ему ПО, то больше оплачивает подписку, что дает возможность получать постоянно обновляемые сигнатуры, без чего антивирус становится куда менее полезным (он может отлавливать известные вирусы лишь на определенный момент, не получая информации о новых). В SECaaS же обработка файла ведется на облачном антивирусе (отсылается только часть файла, контрольная сумма, что сокращает нагрузку на сеть). Из приведенного выше списка видно, что спектр услуг, который можно отдать на аутсорсинг, достаточно велик. Например, журналирование занимает много времени и требует наличие инженера по обеспечению безопасности в штате. Понятно, что будет проще и дешевле оплатить подписку на SECaaS.

Однако, несмотря на прогресс в развитии информационных технологий и услуг информационной безопасности, многие просто не готовы отдать этот элемент бизнеса на аутсорсинг. Причины:

- Клиенты боятся потерять свои данные, поскольку безопасность будет передана сторонней организации (психологически, проще знать, что есть человек, который занимается всем этим у себя на предприятии, чем отдавать такие вещи в руки сторонним специалистам);
- Отсутствие стандартов. (Рынок облачных вычислений – новый рынок)

Но технология развивается. SECaaS используют такие предприятия, как Cisco, McAfee, Panda Software, Symantec, Trend Micro и VeriSign [8].

С продвижением облачных технологий и увеличения числа облачных пользователей, размеры безопасности данных будут постоянно увеличиваться, что будет требовать улучшения аспектов защиты информации. Ответственность за будущее всех облачных сервисов (в том числе и SECaaS) лежит на поставщиках. Поэтому их первоочередная задача – завоевание доверия клиентов и повышение качества предоставляемых услуг. SECaaS представляет собой удобный, многофункциональный элемент для управления безопасностью предприятия, что во многом позволяет экономить на информационной безопасности. Простой в обращении, надежный, экономичный сервис

завоеывает всю большую аудиторию, демонстрируя универсальность «облака». Доля сервисов к 2018 году вырастет более чем в четыре раза по сравнению с 2014 годом, заняв до 40 % рынка, а общий объем рынка в сопоставимых ценах сократится на 15 %. При этом, в структуре сервисов значительную долю будут занимать интеллектуальные сервисы ИБ, предоставляемые по модели Security as a Service (SECaaS).

### Список литературы:

1. Безкорвайный Д. Security as a Service. Что должен уметь провайдер [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.iksmedia.ru/articles/3928552-Security-as-a-Service-Chto-dolzhen.html> (дата обращения 27. 11. 2015).
2. Облачные сервисы (Опыт России) [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Облачные\\_сервисы\\_\(рынок\\_России\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Облачные_сервисы_(рынок_России)) (дата обращения 28. 11. 2015).
3. Первая на российском рынке облачная услуга информационной безопасности [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.croc.ru/news/detail/41733/> (дата обращения 29.11.2015).
4. Понятие облачных технологий [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://technologies.hut4.ru/onocol.html> (дата обращения 25. 11. 2015).
5. CYREN – безопасность как сервис (SECaaS) для защиты от интернет угроз [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://certsys.ru/events/?events=438> (дата обращения 22. 04. 2015).
6. J'son & Partners: рынок информационной безопасности в России вырос на 13% [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.osp.ru/news/2015/0312/13027827/> (дата обращения 29. 11. 2015).
7. SaaS (рынок России) [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:SaaS\\_\(рынок\\_России\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:SaaS_(рынок_России)) (дата обращения 29. 11. 2015).
8. What is security-as-a-service (SECaaS)? [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://searchsecurity.techtarget.com/definition/Security-as-a-Service> (дата обращения 29. 11. 2015).



## АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕХОВОЙ ОДЕЖДЫ В СОВРЕМЕННЫХ САПР

**Гусева Марина Анатольевна**

канд. техн. наук, доцент,  
Московский государственный университет дизайна и технологии,  
РФ, г. Москва  
E-mail: [guseva\\_marina67@mail.ru](mailto:guseva_marina67@mail.ru)

**Андреева Елена Георгиевна**

д-р техн. наук, профессор,  
Московский государственный университет дизайна и технологии,  
РФ, г. Москва  
E-mail: [mgudt252@yandex.ru](mailto:mgudt252@yandex.ru)

**Петророва Ирина Александровна**

д-р техн. наук, профессор,  
Московский государственный университет дизайна и технологии,  
РФ, г. Москва  
E-mail: [irina76802@yandex.ru](mailto:irina76802@yandex.ru)

## THE RELEVANCE OF DESIGN MODEL DESIGNS OF FUR GARMENTS IN MODERN CAD CLOTHING

**Marina Guseva**

candidate of Science, associate Professor,  
Moscow state University of design and technology,  
Russia, Moscow

**Elena Andreeva**

doctor of technical Sciences, Professor,  
Moscow state University of design and technology,  
Russia, Moscow

**Irina Petrosova**

doctor of technical Sciences, Professor,  
Moscow state University of design and technology,  
Russia, Moscow

## АННОТАЦИЯ

В современных условиях геополитической обстановки возрастает роль пушно-меховой отрасли в обеспечении экономической безопасности государства. Ранее насыщение рынка товарами из натурального меха в основном происходило за счет импорта. С внедрением инновационных технологий проектирования одежды из натурального меха на предприятиях России возрастает конкурентоспособность отечественной продукции, мобильность производства, позволяющая осуществить быструю смену ассортимента при любых колебаниях рынка.

## ABSTRACT

In modern conditions the geopolitical situation, the role of fur industry in ensuring the economic security of the state. Previously, saturation of market with goods made of natural fur mostly about-came at the expense of imports. With the introduction of innovative technology of design of sewing clothes production from genuine fur for the Russian enterprises increases the competitiveness of domestic products, the mobility of production, enabling changing stock at any fluctuations of the market.

**Ключевые слова:** одежда из натурального меха; модельные конструкции; 2D и 3D конструкции; системы автоматизированного проектирования одежды.

**Keywords:** clothing made of natural fur; model design; 2D and 3D design; computer-aided design of clothes.

Сегодня Россия потребляет товаров из меха и пушнины больше, чем производит. Отечественные производители одежды из натурального меха приобретают за рубежом, как сырье, так и проектно-конструкторскую документацию, включающую лекальное хозяйство, что сказывается на цене изделия. В России одежда из натурального меха всегда была популярным товаром, поскольку основная территория государства расположена в относительно холодном климатическом поясе. При этом весь ассортимент меховых изделий можно разделить на два больших класса: изделия широкого потребления и единичные. Однако это не означает, что модели из перечисленных классов существуют опосредованно. Как правило, дизайнерские эксклюзивные модели являются прообразом изделий массового производства [1].

Сегодня отечественные потребители, благодаря средствам массовой информации и интернет-ресурсам, имеют неограниченный доступ к трансляции лучших дизайнерских показов. На формирование вкуса населения оказывают воздействие телевидение, наружная

реклама и периодические издания (журналы). Поскольку стоимость мехового изделия, как правило, высока, то его покупка является плановым мероприятием. Покупатели заранее интересуются стилевым и конструктивным решением одежды и выбирают соответствующие изделия, ориентируясь на уровень дохода. Влияние моды на цену изделия неоспоримо. Соответствие тренду, современному дизайну, модному стилю важно как для потребителей с высокими доходами (41,99 %), так и для пенсионеров (21,83 %) и покупателей с доходами выше среднего (18,65 %). Лишь 17,53 % покупателей утверждают, что не интересуются модой на меховую одежду. Трендовые товары, закреплённые на рынке, составляют в начальный период внедрения 10% всего рынка и, оказавшись востребованными большинством потребителей, становятся базисными и представляют собой фундамент рынка товаров массового потребления, рассчитанного на удовлетворение потребительского спроса больших групп населения [2].

В условиях глобальной конкуренции предприятия, занимающиеся производством одежды из натурального меха, безусловно, ориентируются на предлагаемые дизайнерами идеи (рис. 1). Современные меховые изделия в дизайнерских коллекциях предлагаются полуприлегающего, прямого и трапецевидного силуэтов, их можно использовать для повседневной носки [1]. Так трендовое предложение дизайнеров по горизонтальному расположению меховых шкурок в изделиях спроецировано производителями на модели промышленных коллекций. Предлагаемый тренд одобрен покупателями, пользуется устойчивым спросом и из ультрамодного в течение сезона переходит в категорию «классический» (рис. 2).



**Рисунок 1. Формирование трендового колористического решения:  
а – дизайнерская модель [4]; б – модель из коллекции предприятия [3]**

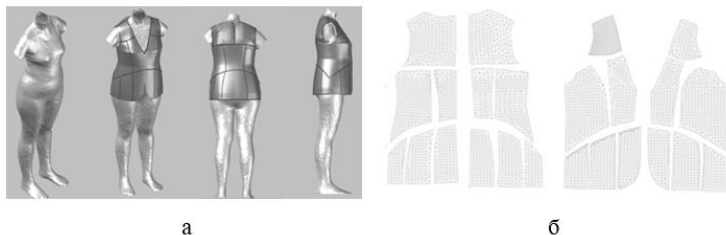


**Рисунок 2. Распространение трендового решения раскроя меха:  
а – дизайнерская модель; б, в, г – модели промышленных коллекций**

Современные графические программы САПР широко используются на предприятиях швейной отрасли. Отечественные меховые предприятия пока не оснащены подобными разработками. Модельные конструкции одежды из меха традиционно проектируются вручную. Внедрение автоматизированного 2D и 3D проектирования на предприятиях отрасли значительно повысит качество труда конструктора.

3D форму меховых изделий массового производства целесообразно проектировать в графической среде системы автоматизированного проектирования. Одежда из меха, как любая другая – трехмерный объект уникальной конфигурации. Пространственная форма одежды базируется на 3D форме тела человека. Базу данных любой промышленной САПР одежды, имеющей 3D модуль, несложно пополнить виртуальными образами типовых и индивидуальных фигур. Виртуальные манекены визуализируются в графической среде САПР после 3D сканирования человека. Хорошее качество визуализации предоставляет бесконтактный измерительный комплекс МГУДТ [5].

Формирование пространственной формы мехового изделия на виртуальном манекене позволяет с высокой точностью позиционировать линии членений поверхности изделия (рис. 3, а) и получить качественные развертки – 2D конструкции (рис. 3, б).



**Рисунок 3. Проектирование формы одежды в современной САПР:  
а – формирование 3D поверхности изделия с нанесение линий  
членений стана (фрагмент); б – 2D развертка**

Многие 3D САПР предлагают возможности визуального изменения образа проектируемой одежды при работе с цветом и фактурой материала. Компьютерные изображения материалов и моделей сохраняются в специальных базах данных, могут многократно использоваться и пополняться. Так при одной и той же 3D форме проектируемого изделия при различных вариантах членений и расположения меховых шкурок можно получить несколько различных по дизайну моделей одежды.

Системы автоматизированного проектирования одежды являются продуктом высоких технологий. Наличие трехмерного модуля в САПР значительно ускоряет процесс проектирования изделий, позволяет выполнять любые корректировки, как пространственной формы одежды, так и плоских лекал, сократить количество примерок на всех этапах проектирования одежды – от технического предложения до рабочего проекта. Модное в настоящем сезоне колористическое оформление одежды из меха (см. рис. 1) так же целесообразно решать в 3D графической среде САПР. Виртуальное нанесение рисунка на трехмерную поверхность проектируемого изделия позволяет однозначно позиционировать относительно друг друга детали одежды с учетом взаимного соединения срезов.

Специалисты, работающие в данной области науки, создают новую базу знаний для проектирования одежды в 2D и 3D САПР.

### **Список литературы:**

1. Гусева М.А., Петросова И.А., Андреева Е.Г. Особенности покроя современной меховой одежды // Материалы XXI Международной научно-практической конференции «Кожа и мех в XXI веке: Технология, качество, экология, образование». ВСГУТУ. – 2015.

2. Зарецкая Г.П., Петросова И.А., Гусева М.А., Мезенцева Т.В., Гончарова Т.Л., Лопасова Л.В. Маркетинговые исследования пушно-меховой индустрии России. Мн.: НО Российский пушно-меховой союз, 2015. – 300 с.
3. Меха Екатерина [официальный сайт]: Режим доступа. – URL: <http://www.mexa-ekaterina.ru/>, свободный (дата обращения 20.11.2015).
4. Меховой портал – все о мехе и меховой моде [Электронный ресурс]: – Режим доступа. – URL: <http://fursik.ru/>, свободный (дата обращения 23.11.2015).
5. Петросова И.А., Андреева Е.Г. Разработка технологии трехмерного сканирования для проектирования виртуальных манекенов фигур человека и 3D моделей одежды. Мн.: РИО МГУДТ, 2015 – 181 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ**

***Осипов Дмитрий Сергеевич***

*канд. техн. наук, доцент*

*Омского государственного технического университета,*

*РФ, г. Омск*

*E-mail: [ossipovdmitriy@list.ru](mailto:ossipovdmitriy@list.ru)*

***Коваленко Дмитрий Валерьевич***

*аспирант, Омский государственный технический университет,*

*РФ, г. Омск*

*E-mail: [Dmitrii\\_Kovalenko92@mail.ru](mailto:Dmitrii_Kovalenko92@mail.ru)*

***Файфер Лилия Андреевна***

*магистрант группы ЭЭМ-143,*

*Омский государственный технический университет,*

*РФ, г. Омск*

*E-mail: [faiferlilia@mail.ru](mailto:faiferlilia@mail.ru)*

## APPLICATION OF WAVELET TRANSFORM TO CALCULATE THE POWER IN POWER SYSTEMS UNDER NON-STATIONARY OPERATING MODES

*Dmitriy Osipov*

*candidate of Technical Sciences, assistant professor  
Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk*

*Dmitriy Kovalenko*

*graduate, Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk*

*Liliya Fajfer*

*undergraduate of EEm-143 group, Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk*

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены краткие теоретические сведения вейвлет преобразования, Фурье преобразования, а также основные направления применения вейвлет преобразования в электроэнергетике.

В настоящей работе предложен способ определения активной, реактивной и полной мощностей на основе коэффициентов дискретного вейвлет преобразования. Проведено сравнение полученных результатов имитационного моделирования с известными способами. Также кратко были упомянуты особенности применения этих методов (преобразования Фурье и вейвлет преобразования).

### ABSTRACT

The article describes a brief theory of wavelet transformation, Fourier transformation and basic directions of applications of wavelet transform in power.

In this paper we propose a method for determining active, reactive and apparent power based on the coefficients of the discrete wavelet transform. A comparison of the results of simulation with known methods. Also briefly mentioned was the particular application of these methods (Fourier transform and wavelet transform).

**Ключевые слова:** вейвлет; вейвлет преобразование; преобразование Фурье; расчет мощностей; стационарный и нестационарный режимы.

**Keywords:** wavelet; wavelet transform; Fourier transform; capacity calculations; stationary and nonstationary regimes.

О происхождении термина «вейвлет» в работе [4] автор отмечает: «Слово wavelet – английское. Оно происходит от французского “ondelette” и переводится как «короткая (или маленькая) волна». В различных зарубежных статьях, переведенных на русский язык, можно встретить и другие варианты перевода (например, «всплеск», «всплесковая функция», «маловолновая функция», «волночка»).

Вейвлет-преобразование произвольного одномерного сигнала – это представление сигнала обобщенным рядом, либо интегралом Фурье по системе базисных функций полученных из исходного вейвлета  $\psi(t)$ , который обладает определенными свойствами «за счет операций сдвига во времени  $b$  и изменения временного масштаба  $a$ . Множитель  $1/a$  обеспечивает независимость нормы этих функций от масштабирующего числа  $a$ ». При заданном значении параметров  $a$  и  $b$  функция  $\psi_{ab}(t)$  является вейвлетом. И одновременно производной материнского вейвлета  $\psi(t)$ .

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right),$$

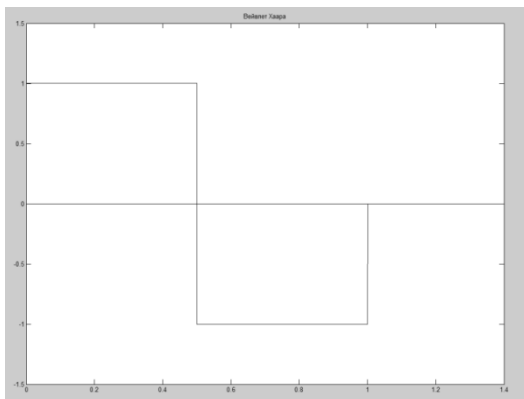
Идеи теории вейвлет-анализа возникли с появлением большого количества рядов экспериментальных данных, обработка которых методом Фурье-преобразования показала ограниченность последнего для поиска закономерностей в них.

Один из первых, кто понял ограниченность применения фурье-анализа, был А. Хаар, опубликовавший систему базисных функций, которые обладали основными свойствами вейвлетов. Эта работа появилась в 1910 году, а сам термин «вейвлет» появился почти через 70 лет. Система функций, которую ввел Хаар обладала свойствами, присущими для вейвлетов, а именно: локальной областью определения (ограниченными носителями), ортогональностью и единичной нормой, нулевым средним и самоподобием (автомодельностью).

Приведем популярные (также называемые иногда классическими) вейвлеты [1].

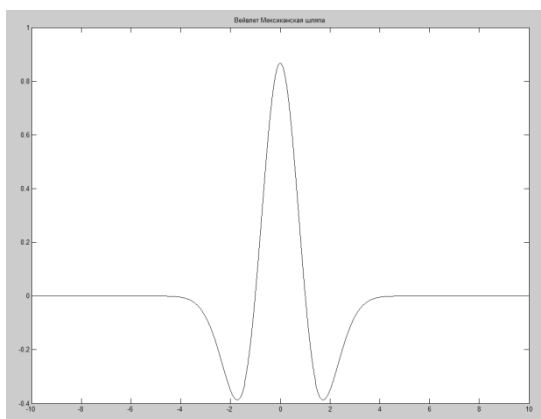
«Наг-вейвлет:





**Рисунок 1. Вейвлет Хаара**

Mhat-вейвлет ("Мексиканская шляпа"):



**Рисунок 2. Вейвлет «Мексиканская шляпа»**

Вейвлет Морле (образует комплексный базис, изображена действительная часть):

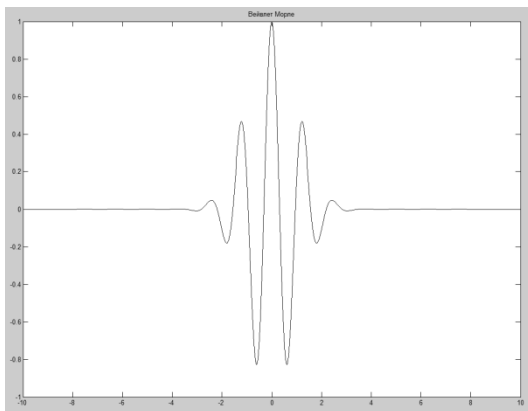


Рисунок 3. Вейвлет Морле

Рассмотрим в качестве примера вейвлет функцию и модуль спектральной плотности этой функции (рис. 4, 5).

«Малые значения параметра  $a$  соответствуют мелкому масштабу вейвлет-функции  $\psi_{ab}(t)$  или высоким частотам ( $\omega \sim 1/a$ ), большие значения  $a$  – крупному масштабу вейвлет-функции  $\psi_{ab}(t)$ » [4]. Иначе говоря, мы растягиваем исходный вейвлет  $\psi(t)$  и сжимаем его спектр.

Если рассматривать частотную область, то спектры вейвлетов напоминают, так называемые, всплески или волночки. (Именно из-за этого обстоятельства встречаются и такие варианты перевода слова wavelet на русский язык, как «волночка»). Они (всплески и волночки) имеют пик на частоте  $\omega_0$  и полосу  $\Delta\omega$  (полосовой фильтр); при этом величины  $\omega_0$  и  $\Delta\omega$  снижаются при увеличении параметра  $a$ .

Из вышесказанного следует, что вейвлеты локализованы не только во временной, но и в частотной областях.

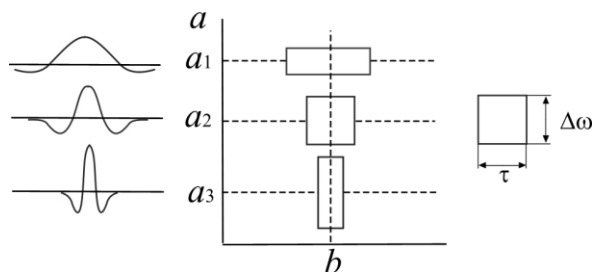


Рисунок 4. Масштабирование вейвлет-функции

Вейвлет-преобразование может быть дискретным и непрерывным.

**Непрерывное вейвлет преобразование.** Непрерывное вейвлет преобразование функции  $s(t) \in L^2(\mathbb{R})$  – это функция двух переменных:

$$C(a, b) = \langle s(t), \psi(a, b, t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \psi(a, b, t) dt, \quad a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0,$$

в которой вейвлеты  $\Psi(a, b, t) \equiv \Psi_{ab}(t)$  являются копиями исходного вейвлета  $\Psi(t) \in L^2(\mathbb{R})$ , в совокупности задающие базис пространства  $L^2(\mathbb{R})$ . Они получены из исходного благодаря операциям масштаба и сдвига.

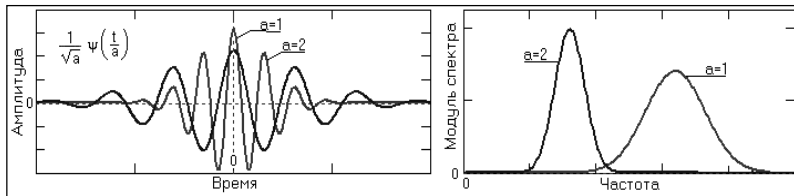
Порождающие функции – это любые функции, имеющие компактный носитель. На временной оси они ограничены по местоположению и времени. Также они имеют и спектральный образ, который локализован на оси частот.

Базис пространства  $L^2(\mathbb{R})$  создается из одной порождающей функции (при этом её норма равна 1). Для того, чтобы функция вейвлета могла перекрыть всю временную ось пространства, используется операция смещения (сдвига) по временной оси:

$$\Psi(b, t) = \Psi(t - b),$$

где значение  $b$  – непрерывная величина (для непрерывного вейвлет преобразования).

А для перекрытия всего частотного диапазона пространства  $L^2(\mathbb{R})$  по частоте используется «операция временного масштабирования вейвлета с непрерывным изменением независимой переменной:  $\Psi(a, t) = |a|^{-1/2} \Psi(t/a)$ » [2]. На рисунке 5 показан пример, который иллюстрирует расширение временного образа вейвлет-функции (для этого достаточно изменить параметр  $a$ ). В этом случае его «средняя частота» [2] снижается, а частотная локализация переходит в низкочастотную область. Иными словами, с помощью сдвига по независимой переменной  $(t-b)$  вейвлет может передвигаться по всей числовой оси любого сигнала, а с помощью изменения переменной  $a$  (масштаб) в зафиксированной точке оси  $(t-b)$  может использоваться в качестве «микроскопа» – он «показывает» частотный спектр сигнала по определенному интервалу окрестностей точки.



**Рисунок 5. Расширение временного образа вейвлет-функции**

Используя эти операции «вейвлетный базис функционального пространства образуется путем масштабных преобразований и сдвигов порождающего вейвлета  $\Psi(t)$ » [2]:

$$\Psi(a,b,t) = |a|^{-1/2} \Psi[(t-b)/a], \quad a, b \in \mathbb{R}, \quad a \neq 0, \quad \Psi(t) \in L^2(\mathbb{R}).$$

Мы можем убедиться, что нормы вейвлетов  $\Psi(a,b,t)$  равны норме  $\Psi(t)$ . Это обеспечивает множитель  $|a|^{-1/2}$ . В случае нормировки к 1 исходного вейвлета  $\Psi(t)$  все получающееся семейство вейвлетов станет нормированным. Кроме того, если выполнится требование ортогональности функций, то функции  $\Psi(a,b,t)$  смогут образовать ортонормированный базис пространства  $L^2(\mathbb{R})$ .

**Дискретное вейвлет-преобразование.** Это вейвлет-преобразование, в котором задаются дискретные значения параметров  $a, b$  вейвлетов с произвольным шагом  $\Delta a$  и  $\Delta b$ . Вследствие этого мы получаем большое количество коэффициентов, которое много больше числа отсчетов исходного сигнала. Такое количество коэффициентов не требуется для реконструкции сигнала.

Дискретное вейвлет преобразование способно обеспечить достаточное количество информации, необходимое не только для анализа сигнала, но и для синтеза. Оно использует дискретные значения параметров  $a$  и  $b$ , задающиеся степенными функциями:

$$a = a_0^{-m}, \quad b = k \cdot a_0^{-m}, \quad a_0 > 1, \quad m, k \in \mathbb{I},$$

где:  $\mathbb{I}$  – множество целых чисел  $(-\infty, \infty)$ ;

$m$  – параметр масштаба;

$k$  – параметр сдвига.

Тогда базис пространства  $L^2(\mathbb{R})$  в дискретном представлении можно записать как:

$$\Psi_{mk}(t) = |a_0|^{m/2} \Psi(a_0^m t - k), \quad m, k \in \mathbb{I}, \quad \Psi(t) \in L^2(\mathbb{R}).$$

Вейвлет-коэффициенты прямого преобразования:

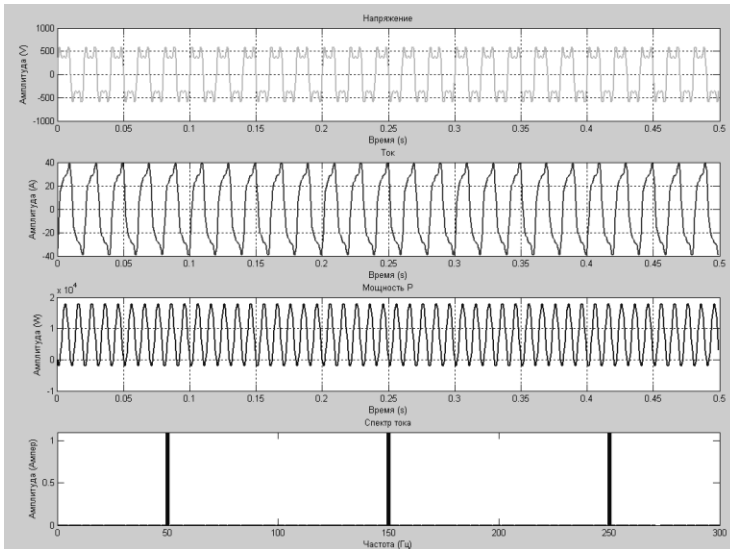
$$C_{mk} = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)\psi_{mk}(t)dt.$$

Значение параметра  $a$  может быть любым, но часто принимается равным 2. В этом случае вейвлет-преобразование называется *диадным*. Для него был разработан быстрый алгоритм вычислений. Это обусловило его широкое применение при анализе массивов цифровых данных.

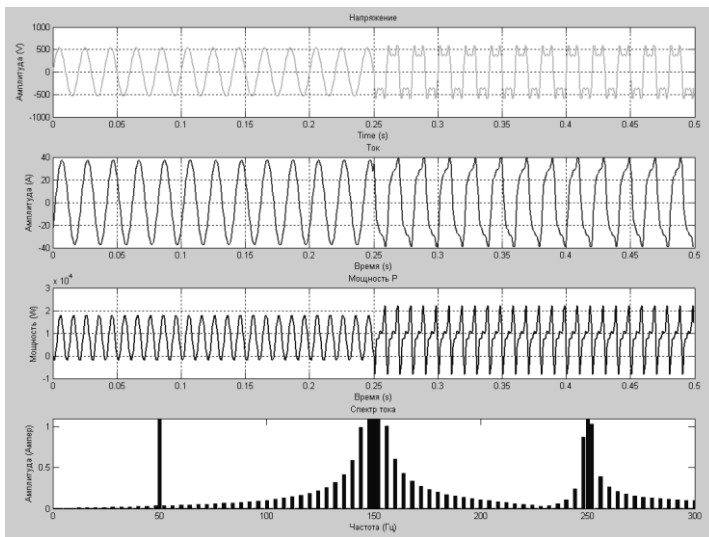
**Сопоставление с преобразованием Фурье.** Преобразование Фурье по праву считается традиционным математическим аппаратом, применяющимся для анализа стационарных процессов. Сигналы представляются в виде суммы функций синусов и косинусов, либо комплексных экспонент. Эти базисные функции определены на всем временном промежутке  $(-\infty, \infty)$ .

Если говорить о практическом применении и о точности произвольных сигналов, то у преобразования Фурье есть некоторые недостатки и ограничения. Оно имеет, с одной стороны, хорошую частотную локализацию сигнала, но с другой, оно имеет плохое разрешение по времени. Чтобы применить преобразование Фурье необходимо наличие сигнала не только в настоящий момент, но и в прошлом и в будущем (при условии, что задана только одна частота). Это связано с тем, что при разложении в ряд Фурье используются гармонические функции (синусоиды и косинусоиды), которые определены на всем временном интервале – от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Другая особенность этого метода заключается в неучете изменений частоты колебаний во времени. Локальные особенности сигнала (разрывы, ступеньки, пики и т. п.) при таком преобразовании создают малозаметные составляющие спектра. Преобразование Фурье не способно выявить эти особенности сигнала. Поэтому становится невозможным и точная реконструкция исходного сигнала (проявляется эффект Гиббса). Чтобы получить высокочастотную информацию о сигнале с приемлемой точностью, становится необходимым извлекать её из коротких промежутков времени и только из части сигнала (и наоборот для низкочастотной информации). Следует отметить, что на практике практически не встречаются стационарные сигналы, а для нестационарных сигналов преобразование Фурье трудноприменимо.

Для иллюстрации рассмотрим графики стационарного и нестационарного сигналов (моделирование сигналов было выполнено в программной среде MATLAB).



**Рисунок 6. Стационарный несинусоидальный режим работы простейшей системы**



**Рисунок 7. Нестационарный несинусоидальный режим работы простейшей системы**

В первом случае рассматривается стационарный режим при несинусоидальном источнике питания:

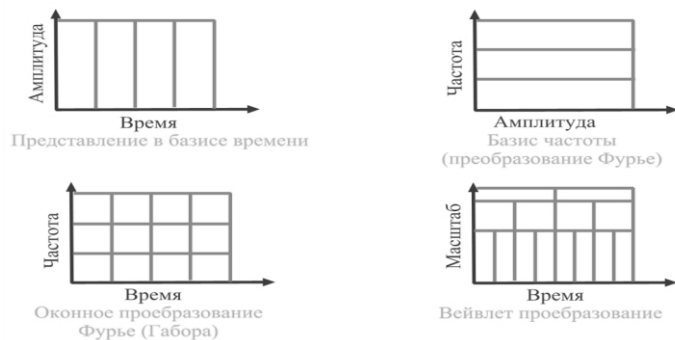
$$u = 380\sqrt{2} \sin(\omega t) + 190\sqrt{2} \sin(3\omega t) + 95\sqrt{2} \sin(5\omega t),$$

а во втором – нестационарный режим:

$$u = 380\sqrt{2} \sin(\omega t_1) + 380\sqrt{2} \sin(\omega t_2) + 190\sqrt{2} \sin(3\omega t_2) + 95\sqrt{2} \sin(5\omega t_2).$$

Первые половины графиков – чистые синусоиды напряжения и тока, вторая половина – несинусоидальные кривые. Нетрудно заметить, что при стационарном режиме на графике частотного спектра видны четкие пики гармоник. Здесь преобразование Фурье работает идеально. Но как только режим становится нестационарным (вторая группа графиков), представление сигнала в амплитудно-частотном виде затрудняется (на графике появляются множество ложных частот, которые отсутствуют в реальности). Иными словами, применять Фурье преобразования в этом случае не рекомендуется. К этим графикам мы еще вернемся во второй части статьи, когда будем рассматривать задачу по определению мощностей.

У вейвлетов имеются свойства локальности. Поэтому вейвлет преобразование является более предпочтительным по сравнению с преобразованием Фурье. В вейвлет преобразовании действие умножения исследуемой функции на окно уже имеется в базисной функции. Она расширяет и сужает окно (рис. 8): при увеличении параметра  $a$  повышается частотное расширение и уменьшается временное и наоборот, с уменьшением параметра  $a$  падает частотное разрешение и повышается временное. Следовательно, становится возможным выбрать параметры окна в зависимости от сигнала. Подвижное частотно-временное окно прекрасно выделяет характеристики сигналов различных частот (как высокочастотные, так и низкочастотные). Из-за этой особенности вейвлет преобразование имеет преимущество при анализе свойств исследуемых сигналов в локальных областях.



**Рисунок 8. Увеличение и уменьшение параметра  $a$**

Следующая особенность: можно реконструировать сигнал. Причем возможно воссоздать часть сигнала или рассмотреть вклад определенного масштаба. Если преобразование Фурье распространит ошибки на весь реконструированный сигнал, то ошибки вейвлет преобразования (случайные ошибки при вычислении коэффициентов) распространятся только рядом с положением возмущения (т. е. локальные ошибки реконструкции сигнала).

Именно благодаря последней особенности этот метод (в отличие от преобразования Фурье, которое попросту не справляется с выявлением локальных особенностей исследуемого сигнала) широко применяется для «тонкого» анализа сигналов и изображений, очистке их от шума (а это важно в радиотехнике, медицине, электронике и во многих других областях техники).

Рассматривая сферы применения вейвлет преобразование, необходимо более подробно остановиться на такой широкой области, как электроэнергетика. Следует упомянуть, что первыми, кто ввел метод вейвлет преобразования в эту область, были Д. Робертсон и П. Рибейро (в 1994 году). В последующих работах говорилось о возможностях применения вейвлет преобразования для идентификации переходных процессов. Обзор зарубежного опыта применения вейвлет анализа позволил автору [3] выделить основные направления использования данного математического аппарата:

- «Анализ качества электрической энергии в узлах нагрузки ЭЭС.
- Диагностирование электрооборудования.
- Анализ различных переходных процессов в ЭЭС.
- Релейная защита и автоматика ЭЭС.



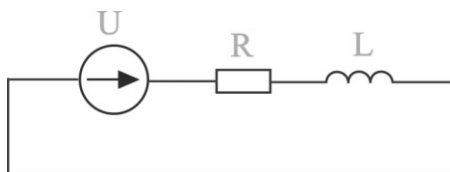
- Прогнозирование нагрузки в отдельных узлах и в ЭЭС в целом.
- Электроизмерения различных процессов в ЭЭС, в том числе быстропротекающих и импульсных.
- Обработка и кодирование информации при интернет-коммерции электроэнергетики».

Кроме достоинств нового метода, следует упомянуть и об его недостатках – это его относительная сложность и трудность для понимания.

Мы рассмотрели некоторые теоретические сведения, связанные с вейвлет преобразованием, а также провели сравнение этого метода с преобразованием Фурье в теории. Пришло время показать это при решении практической задачи.

### **Расчет мощностей при несинусоидальных нестационарных режимах на основе дискретного вейвлет преобразования**

Рассмотрим простейшую систему. Параметры:  $R=11,55 \text{ Ом}$ ;  $L=27,6 \text{ мГн}$ .



**Рисунок 9. Схема замещения простейшей электрической системы**

На *первом* этапе мы зададим стационарный режим и синусоидальный источник ЭДС.

На *втором* этапе – стационарный режим и несинусоидальный источник ЭДС.

На *третьем* этапе – нестационарный режим и несинусоидальный источник ЭДС.

Для всех трех этапов необходимо получить значения активной, реактивной и полной мощностей (а также построить соответствующие зависимости) различными способами: *классическим* (расчет по мгновенным значениям) и с помощью *дискретного вейвлет преобразования*.

Рассмотрим подробнее каждый этап.

На первом этапе мы задали синусоидальный источник питания как

$$U = 380 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$$

Тогда индуктивное сопротивление будет равно:

$$X_L = \omega L = 8,67 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = 14,44 \text{ Ом.}$$

Начальная фаза тока:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{X_L}{R}\right) = 36,9^\circ.$$

Амплитуда основной гармоники тока:

$$I_m = \frac{U_m}{Z} = 37,21 \text{ А.}$$

Тогда уравнение для сигнала тока примет следующий вид:

$$i(t) = 37,21 \cdot \sin(\omega t_1 + 36,9^\circ).$$

Затем мы находим действующие значения напряжения и тока как:

$$U = \sqrt{\frac{\sum u(t)^2}{N}} = 380 \text{ В, } I = \sqrt{\frac{\sum i(t)^2}{N}} = 26,31 \text{ А.}$$

Активную мощность найдем как:

$$P = \frac{\sum u(t) \cdot i(t)}{N} = 7995,9 \text{ Вт.}$$

Полная мощность:

$$S = UI = 9998,3 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

Для расчета реактивной мощности выделим неактивную составляющую тока как [5]:

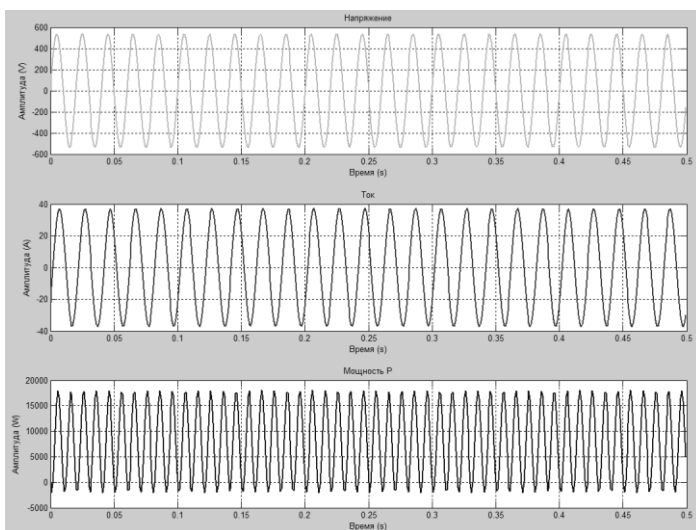
$$i_a(t) = \frac{u(t) \cdot P}{U^2}; \quad i_n(t) = i(t) - i_a(t)$$

и найдем действующее значение этой составляющей:

$$I_n = \sqrt{\frac{\sum i_n^2(t)}{N}} = 18,83 \text{ А.}$$

Реактивная мощность равна:

$$Q = UI_n = 380 \cdot 18,8 = 6002,6 \text{ ВАр.}$$



**Рисунок 11. Стационарный синусоидальный режим простейшей электрической системы**

Результаты вычислений величин сведем в таблицу.

**Таблица 1.**

**Значения величин первого этапа**

Параметры, определенные через мгновенные значения исследуемых величин	Значения, полученные через коэффициенты дискретного вейвлет преобразования
Действующие значения напряжения (В) и тока (А):	
U=380	U=380
I=26,3113	I=26,3113

Мощности:	
P=7995,9 Вт	P=7995,9 Вт
Q=6002,6 ВАр	Q=6002,6 ВАр
S=9998,3 ВА	S=9998,3 ВА
Погрешность определения действующего значения тока (%): $\Delta_1=4,0404 \cdot 10^{-10}$	
Погрешность определения действующего значения напряжения (%): $\Delta_2=4,0398 \cdot 10^{-10}$	
Погрешность определения действующего значения активной мощности (%): $\Delta_3=8,0816 \cdot 10^{-10}$	
Погрешность определения действующего значения реактивной мощности (%): $\Delta_4=8,0778 \cdot 10^{-10}$	
Погрешность определения действующего значения полной мощности (%): $\Delta_5=8,0801 \cdot 10^{-10}$	

Подобные вычисления проводим и для остальных этапов. И заносим полученные значения в таблицы. (Графики зависимостей были представлены выше – там, где мы рассматривали частотные спектры для этих режимов.)

**Таблица 2.**
**Значения величин второго этапа**

Параметры, определенные через мгновенные значения исследуемых величин	Значения, полученные через коэффициенты дискретного вейвлет преобразования
Действующие значения напряжения (В) и тока (А):	
U=435,3447	U=435,3447
I=27,2274	I=27,2274
Мощности:	
P=8562,4 Вт	P=8562,4 Вт
NQ=8196,7 ВАр	NQ=8196,7 ВАр
S=11853 ВА	S=11853 ВА
Погрешность определения действующего значения тока (%): $\Delta_1=3,7827 \cdot 10^{-10}$	
Погрешность определения действующего значения напряжения (%): $\Delta_2=4,1233 \cdot 10^{-10}$	
Погрешность определения действующего значения активной мощности (%): $\Delta_3=7,6041 \cdot 10^{-10}$	
Погрешность определения действующего значения неактивной мощности (%): $\Delta_4=8,2355 \cdot 10^{-10}$	
Погрешность определения действующего значения полной мощности (%): $\Delta_5=7,9060 \cdot 10^{-10}$	

Таблица 3.

**Значения величин третьего этапа**

<b>Параметры, определенные через мгновенные значения исследуемых величин</b>	<b>Значения, полученные через коэффициенты дискретного вейвлет преобразования</b>
Действующие значения напряжения (В) и тока (А):	
U=408,6105	U=408,6105
I=26,7733	I=26,7733
Мощности:	
P=8279,1 Вт	P=8279,1 Вт
NQ=7150,9	NQ=7150,9
S=10940 ВА	S=10940 ВА
Погрешность определения действующего значения тока (%): $\Delta_1=3,7341 \cdot 10^{-10}$	
Погрешность определения действующего значения напряжения (%): $\Delta_2=3,9248 \cdot 10^{-10}$	
Погрешность определения действующего значения активной мощности (%): $\Delta_3=7,4863 \cdot 10^{-10}$	
Погрешность определения действующего значения неактивной мощности (%): $\Delta_4=7,8899 \cdot 10^{-10}$	
Погрешность определения действующего значения полной мощности (%): $\Delta_5=7,6588 \cdot 10^{-10}$	

Рассмотрев полученные значения действующих значений тока, напряжения, мощностей, а также погрешностей определения этих величин, мы можем сказать, что величины, полученные новым методом, по точности не уступают величинам, определенных классическим методом (погрешность порядка минус 10 степени). Следовательно, мы можем использовать не только метод Фурье-преобразования, но и метод вейвлет преобразования в качестве дополнения к преобразованию Фурье и рассмотреть исследуемый процесс под другим углом зрения.

**Список литературы:**

1. Вейвлет-анализ в примерах: учебное пособие / О.В. Нагорнов, В.Г. Никитаев, В.М. Простокишин и др. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 120 с.
2. Давыдов А.В. Цифровая обработка сигналов: Тематические лекции. / Екатеринбург: УГГУ, ИГиГ, кафедра геоинформатики. – 2007–2010.
3. Мисриханов А.М. Применение методов вейвлет-преобразования в электроэнергетике / А.В. Мисриханов // Автоматика и телемеханика. – 2006. – № 5.

4. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования: учебное пособие / А.Н. Яковлев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 104 с.
5. Morsi W.J. Time-frequency single-phase power components measurements for harmonics and inter-harmonics distortion based on Wavelet Packet transform; Part I: Mathematical formulation / W.J. Morsi, E.E. Mohamed // Can. J. Elect. Comput. Eng. – 2010. – Vol. 35. – № 1.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ ПРИ СМЫКАНИИ С САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНОЙ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

***Кузьмина Татьяна Васильевна***

*канд. техн. наук., доцент Тюменского государственного  
архитектурно-строительного университета,  
РФ, г. Тюмень  
E-mail: [architect@tgasu.ru](mailto:architect@tgasu.ru)*

***Белявская Оксана Шавкатовна***

*старший преподаватель Тюменского государственного  
архитектурно-строительного университета,  
РФ, г. Тюмень  
E-mail: [belyavskayoksana@mail.ru](mailto:belyavskayoksana@mail.ru)*

## **THE RESEARCH OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE URBAN AREA ADJACENT TO THE SANITARY PROTECTION ZONE OF THE OPERATING PLANT**

***Tatyana Kuzmina***

*PhD in Technical Sciences, assistant professor  
of Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering,  
Russia, Tyumen*

***Oksana Belyavskaya***

*senior teacher  
of Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering,  
Russia, Tyumen*

## АННОТАЦИЯ

Рассмотрен экологический аспект проблемы загрязнения городского пространства при смыкании с санитарно-защитной зоной территории действующей Тюменской ТЭЦ-2. Проведены исследования образцов почвы и воды с целью определения степени загрязненности рекреационной территории. Обоснована необходимость комплексного обследования жилой среды, оказавшейся в зоне раскрытия факелов от высокоорганизованных выбросов названного предприятия.

## ABSTRACT

The article considers the ecological aspect of the problem of the urban area adjacent to the sanitary protection zone of the operating plant – The Tyumen Steam Station-2. The article also includes tests' results of the soil samples and the water samples for determine the pollution intensity of the recreational area.

The paper includes the proving of the necessity of the integrated surveys of the living environment, which situated in zone of the atmospheric plume fanning of the highly organized emissions of the operating plant.

**Ключевые слова:** Загрязнение компонентов пространства; высокоорганизованные, низкоорганизованные, неорганизованные выбросы; угол раскрытия факела выбросов; экологизация энергетики.

**Keywords:** The pollution space components; the highly organized emissions, the lowly organized emissions, the fugitive emissions; the included angle of the atmospheric plume; the ecologization of the energy industry.

При анализе экологических проблем приходится констатировать: современное развитие России характеризуется ежегодными потерями ВВП от ухудшения окружающей среды, сопровождается ростом заболеваемости и смертности населения [2]. Урбанизация концентрирует производство в больших городах и одновременно разрушает систему нормативов, определяющих размещение промпредприятий и их безопасность. При расползании города существующие промышленные объекты окружаются застройкой, а новые предприятия отрицательно воздействуют на соседние поселения. Возникает ситуация, когда заселенные пространства перекрываются «сомкнувшимися зонами влияния городов и их промышленных комплексов» [3], при этом:

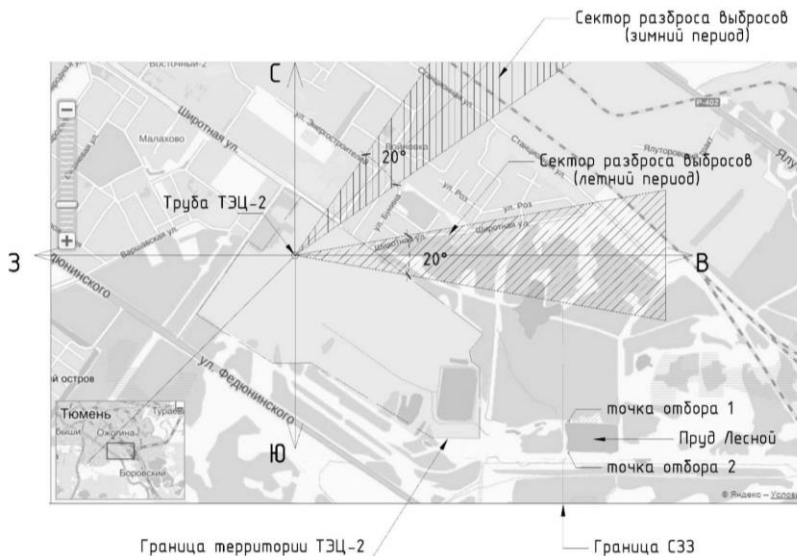
- санитарно-защитные зоны рассматриваются как резерв для застройки;
- под новую застройку используются территории закрывающихся производственных комплексов;

- новые производства создают неизвестные виды загрязнений, при которых санитарно-защитные зоны малоэффективны;
- экологические заболевания все более активно способствуют ухудшению состояния здоровья населения;
- решение проблем отходов производства и вторичного использования ресурсов малоэффективно.

Загрязнение компонентов пространства проявляется на расстояниях, во много раз превышающих размеры любой урбанизированной территории; действующие санитарно-защитные зоны так же получают новые проблемы. Чрезвычайно велико загрязнение среды от тепловых станций. Получение теплоты традиционным способом и централизованное теплоснабжение – это еще и истощение ресурсов, хронические теплотери, перегрев атмосферы. В данной статье рассматривается проблема смыкания рекреационной зоны (база отдыха «Пруд Лесной») и санитарно-защитной зоны ТЭЦ-2 города Тюмени.

Проанализируем картину рассеивания высокоорганизованных, низкоорганизованных и неорганизованных вредных компонентов, источником которых является ТЭЦ-2. Труба высотой 240 м отводит высокоорганизованные выбросы за пределы приземного слоя и рассеивает их; вредные вещества распространяются по направлению господствующих ветров в пределах сектора с углом раскрытия факела 10–20° [4]. База отдыха используется населением круглогодично, поэтому важно учесть преобладающее направление ветра за июнь-август (западное), и за декабрь-февраль (юго-западное). На рисунке 1 видно, что высокоорганизованные выбросы не оказывают существенного влияния на территорию базы.





**Рисунок 1. Картина рассеивания высокоорганизованных выбросов ТЭЦ-2 в летний и зимний периоды**

Но в ближайшей к предприятию зоне всегда есть вредные вещества от низкоорганизованных и неорганизованных источников. Поэтому санитарно-защитная зона ТЭЦ-2 насыщена низкоорганизованными и неорганизованными загрязнениями и смыкается с территорией базы отдыха. Если рекреационные объекты заведомо не должны быть источниками вредного воздействия на человека, то насколько допустимо такое соседство? Здесь наиболее важно проследить наличие концентрации вредных веществ в приземном слое, где находятся люди.

В 2015 г. для исследования были взяты пробы грунта и воды в двух точках на территории базы отдыха, в береговой полосе пруда, используемого для купания (первая точка на территории пляжа, вторая – на противоположной стороне водоема). Пробы воды исследованы на содержание катионов, анионов, определен водородный показатель; результаты сведены в таблицы 1,2.

**Таблица 1.**
**Результаты анализа воды в точке 1**

Показатели	Единица измерения	Результаты	Нормативы (ПДК) не более	Метод испытаний (ссылка на НД)
Водородный показатель	pH	7,87	6–9	ПНД Ф 14.1:2;3;4.121-97
Окисляемость перманганатная	мгО/л		5–7	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
<b>Катионы</b>				
Аммоний	мг/л	0,06	2	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Барий	мг/л	н/о	0,1	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Железо	мг/л	0,8	0,3	ГОСТ 4974-72
Калий	мг/л	3,83	20	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Кальций	мг/л	24,40		ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Литий	мг/л	н/о	0,03	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Магний	мг/л	8,52		ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Марганец	мг/л	0,34	0,1	ГОСТ 4974-72
Натрий	мг/л	8,19	200	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Стронций	мг/л	0,14	7	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
<b>Анионы</b>				
Нитрат	мг/л	3,3	45	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Нитрит	мг/л	н/о	3	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Сульфат	мг/л	1,72	500	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Фосфат	мг/л	0,24	3,5	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Фторид	мг/л	1,05	1,5	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Хлорид	мг/л	1,08	350	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99

**Таблица 2.**
**Результаты анализа воды в точке 2**

Показатели	Единица измерения	Результаты	Нормативы (ПДК) не более	Метод испытаний (ссылка на НД)
Водородный показатель	pH	7,24	6–9	ПНД Ф 14.1:2;3;4.121-97
Окисляемость перманганатная	мгО/л		5–7	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
<b>Катионы</b>				
Аммоний	мг/л	0,06	2	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Барий	мг/л	н/о	0,1	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Железо	мг/л	0,3	0,3	ГОСТ 4974-72

Калий	мг/л	1,77	20	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Кальций	мг/л	23,57		ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Литий	мг/л	н/о	0,03	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Магний	мг/л	7,84		ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Натрий	мг/л	1,73	200	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Стронций	мг/л	0,15	7	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
<b>Анионы</b>				
Нитрат	мг/л	0,18	45	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Нитрит	мг/л	н/о	3	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Сульфат	мг/л	0,65	500	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Фосфат	мг/л	н/о	3,5	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Фторид	мг/л	1,04	1,5	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Хлорид	мг/л	0,34	350	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99

Пробы почвы исследованы на гамма-спектрометре NaI, бета-спектрометре спектрометрического комплекса «Прогресс». Средненные результаты приведены в таблицах 3,4.

*Таблица 3.*

**Средненные результаты для точки 1**

Наименование показателя, ед. измерения	Результат измерений
Активность 90Sr, Бк/кг	0.00 ±58.60
Активность 40K, Бк/кг	126.00±113.00
Активность 232Th, Бк/кг	9.10±12.40
Активность 226Ra, Бк/кг	4.30±10.40
Активность 137Cs, Бк/кг	32.30±10.60
Плотность выпадения Cs-137 составляет 0.00±0.000 Ки/кв.км.	
Плотность выпадения Sr-90 составляет 0.00±0.002 Ки/кв.км.	

*Таблица 4.*

**Средненные результаты для точки 2**

Наименование показателя, ед. измерения	Результат измерений
Активность 90Sr, Бк/кг	5.10±37.50
Активность 40K, Бк/кг	303.70±81.10
Активность 232Th, Бк/кг	7.59±4.58
Активность 226Ra, Бк/кг	4.78±3.95
Активность 137Cs, Бк/кг	1.36±2.41
Плотность выпадения Cs-137 составляет 0.00±0.000 Ки/кв.км.	
Плотность выпадения Sr-90 составляет 0.00±0.005 Ки/кв.км.	

Также в лабораторных условиях определены всхожесть и энергия прорастания семян на водных экстрактах образцов почв и контрольного образца с использованием редиса *Raphanus sativus* по методике [1]; это позволило сделать дополнительные выводы о степени фитотоксичности почвы. Результаты сведены в таблицу 5.

**Таблица 5.**

**Результаты расчетов на всхожесть и энергию прорастания семян**

	<b>Всхожесть</b>	<b>Энергия прорастания</b>
Контрольный образец	100 %	100 %
Точка 1	96,67 %	100 %
Точка 2	93,33 %	100 %

По результатам проведенных исследований можно констатировать: высокоорганизованные, низкоорганизованные и неорганизованные выбросы от ТЭЦ-2 не оказывают существенного влияния на экологические характеристики территории базы отдыха. Возможность использования пруда как пожарного водоема превращает его в бифункциональный объект. Это позволит развивать рекреационные функции, сохранять экосистему, проводя совместный мониторинг его среды.

Градостроительная наука предлагает решать проблемы производства выводом из города производств-загрязнителей, перепрофилированием экологически вредных предприятий, созданием научно-производственных объектов инновационного направления и т. д. Но выводить градообразующие производства за город не логично, а многие производства невозможно перепрофилировать. Поэтому основное направление улучшения качества среды – стимулирование инноваций в градостроительстве, в частности «внедрение прогрессивных технологий, направленных на улучшение экологической ситуации» [2]. Это обосновывает необходимость экологизации энергетики, которая может проходить поэтапно: совершенствование сложившегося энергокомплекса, разработка альтернативных технологий, формирование новой энергетики будущего [5]. Применительно к действующей Тюменской ТЭЦ-2, на первом этапе совершенствования необходимо комплексное обследование жилой среды, оказавшейся в зоне раскрытия факелов от высокоорганизованных выбросов. При проведении исследований необходимо учесть, что существующие рекомендации по улучшению среды градостроительными методами устаревают и не содержат новых данных

по достижению устойчивого развития поселений; среда городов продолжает ухудшаться.

### **Список литературы:**

1. Боме Н.А., Белозерова А.А., Боме А.Я. Биологические свойства семян и фенотипический анализ культурных растений: Учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по специальности 0202201 – Биология. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2007. – 80 с.
2. Градостроительная доктрина Российской Федерации / Коллектив авторов, руководитель Г.В. Есаулов. М.: Экономинформ, 2014. – 30 с.
3. Микулина Е.М. Архитектурная экология: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Е.М. Микулина, Н.Г. Благовидова. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 256 с.
4. Основы инженерной экологии: учеб. пособие / В.В. Денисов [и др.]; под ред. Проф. В.В. Денисова. – Ростов н/Д.: Феникс, 2013. – 623 с.
5. Тетиор А.Н. Архитектурно-строительная экология: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.Н. Тетиор. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.

## ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЯ И ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗА ДЛЯ СИНТЕЗА МОТОРНЫХ ТОПЛИВ

**Набиев Марат Аскенович**

младший научный сотрудник  
Химико-металлургического института им. Ж. Адышева,  
Республика Казахстан, г. Караганда  
E-mail: [nabiyev@list.ru](mailto:nabiyev@list.ru)

**Ермагамбет Болат Төлеухан-ұлы**

д-р хим. наук, профессор, директор  
ТОО «Институт химии угля и технологии»,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [bake.yer@mail.ru](mailto:bake.yer@mail.ru)

**Бектурганов Нуралы Султанович**

д-р техн. наук, профессор, академик НАН РК, первый вице-президент  
КазНАЕН, научный консультант  
АО НТЦ «Парасат»,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [coaltech@bk.ru](mailto:coaltech@bk.ru)

**Нурғалиев Нуркен Утеуович**

канд. хим. наук,  
ТОО «Институт химии угля и технологии»,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [nurgaliev\\_nao@mail.ru](mailto:nurgaliev_nao@mail.ru)

**Касенова Жанар Муратбековна**

магистр техники и технологии  
ТОО «Институт химии угля и технологии»,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [zhanar\\_k\\_68@mail.ru](mailto:zhanar_k_68@mail.ru)

## COAL GASIFICATION AND GAS OBTAINING FOR SYNTHESIS OF MOTOR FUELS

**Marat Nabiyev**

*junior researcher of laboratory  
of Chemical and metallurgical institute of Zh. Adyshev  
Republic of Kazakhstan, Karaganda*

**Bolat Yermagambet**

*doctor of chemical science, professor, director  
of "Institute of coal chemistry and technology"LLP,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

**Nuraly Becturganov**

*doctor of technical science, professor, academician of National Academy  
of Science of the Republic of Kazakhstan, the first vice-president  
of Kazakh National Academy of Natural Sciences, scientific consultant  
of "Scientific and technological holding "Parasat" JCS,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

**Nurken Nurgaliev**

*candidate of chemical science,  
"Institute of coal chemistry and technology"LLP,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

**Zhanar Kassenova**

*master of technics and technology,  
"Institute of coal chemistry and technology"LLP,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

### АННОТАЦИЯ

В данной работе впервые проведено исследование паровоздушной газификации углей месторождений Казахстана (Шубарколь, Жалын, Майкубе, Сарыадыр) и Монголии (Налайх, Багакуур). Определены технический и элементный анализы данных углей, а также выход получаемого газа. Выявлены зависимости концентрации основных горючих компонентов газа от температуры в интервале 600–1000 °С.

### ABSTRACT

For the first time research of steam and air gasification of coal of Kazakhstani deposits (Shubarkol, Zhalyn, Maikube, Saryadyr),

and Mongolia (Nalaikh, Bakaguur) was conducted in this paper. Technical and elemental composition of these coals was determined as well as output of produced gas. Dependence of concentration of basic combustible gas components on temperature in the range of 600–1000 °C.

**Ключевые слова:** уголь; переработка угля; слоевая газификация угля; паро-воздушное дутье; анализ угля; газ; горючие компоненты газа.

**Keywords:** coal; coal processing; layered coal gasification; steam and air blow; coal analysis; gas; combustible gas components.

Для Республики Казахстан уголь остается основным наиболее надежным стратегическим видом топлива, обеспечивающим развитие электроэнергетики и углеперерабатывающей отрасли Казахстана. Объем его потребления в промышленности и других отраслях экономики ежегодно увеличиваться и по прогнозам аналитиков к 2020 г. он вырастет до 121,3 млн. тонн.

В настоящее время Казахстан занимает 8-е место в мире по подтвержденным запасам угля всех видов, которые оцениваются в 150–160 млрд. тонн (4 % от общемирового объема), 62 % из них приходится на бурые угли, а 38 % – на каменные. Данное количество запасов угля, позволяет рассматривать его не только как сырье для угольных электростанций, а также использование угля в термохимических и термokatалитических процессах с целью получения широкого спектра ценных химических продуктов [1].

Одним из перспективных способов глубокой переработки угля по чистой угольной технологией является газификация. Основное преимущество процесса газификации угля состоит в том, что она может удалить загрязнители из угля прежде, чем уголь будет сожжен, таким образом, препятствуя выбросу вредоносных веществ в атмосферный воздух [2].

В настоящее время процессы газификации угля имеют многоцелевое назначение. Основные продукты газификации угля это:

1. Синтез-газ с последующей его переработкой в ценные химические продукты, включая моторные топлива;
2. Горючий газ как заменитель природного газа;
3. Генераторный газ как топливо для энергоустановок [3].

Сотрудниками ТОО «Институт химии угля и технологии» проведены исследования по слоевой газификации угля при паро-воздушном дутье на лабораторной установке периодического действия. В качестве объекта исследования выбраны угли различных месторождений Казахстана и для сравнения угли Монголии.



Технический и элементный анализы углей проводили на термогравиметрическом анализаторе Eltra Thermostep (пр-во Германия), согласно ASTM D7582-12 «Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis») и элементном анализаторе «EURO EA 3000», результаты которых приведены таблице 1.

**Таблица 1.**

**Технические характеристики газифицируемых видов топлив**

№	Месторождение угля	Состав угля, %					Теплота сгорания, ккал/кг
		Марка угля	W <sub>г</sub>	A <sub>г</sub>	V <sub>daf</sub>	S <sub>г</sub>	
1	Шубарколь	Д	11,42	2,76	57,48	0,29	6127
2	Майкубе	Б	9,50	13,00	49,99	0,55	5150
3	Сарыадыр «пласт Надежный»	Г	2,94	46,47	27,68	0,27	3771
4	Жалын (Казахстан)	Г	7,60	5,62	47,70	0,77	5600
5	Багакуур (Монголия)	Б	8,10	18,63	40,00	0,90	3513
6	Налайх (Монголия)	Д	5,82	41,83	32,82	0,38	3937

Получившийся в процессе слоевой газификации синтетический газ, содержал следующий суммарный выход газов, представленный в таблице 2.

**Таблица 2.**

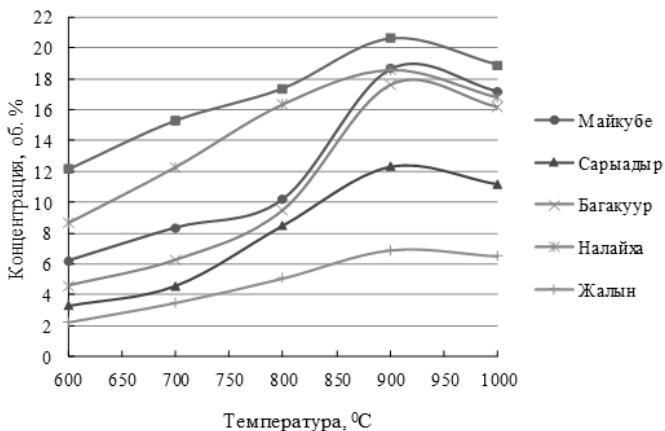
**Суммарный выход горючих компонентов газа (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) при температурах от 600 до 900 °С**

№	Месторождение угля	Суммарный выход CO, H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> (в об. %)			
		600 °С	700 °С	800 °С	900 °С
1	Шубарколь	18,71	25,48	36,16	43,65
2	Майкубе	10,85	17,44	22,43	34,55
3	Сарыадыр (пласт «Надежный»)	6,70	10,40	18,08	23,65
4	Жалын	4,86	8,44	14,86	24,59
5	Налайх	13,19	17,97	23,82	27,18
6	Багакуур	13,92	20,69	27,14	40,84

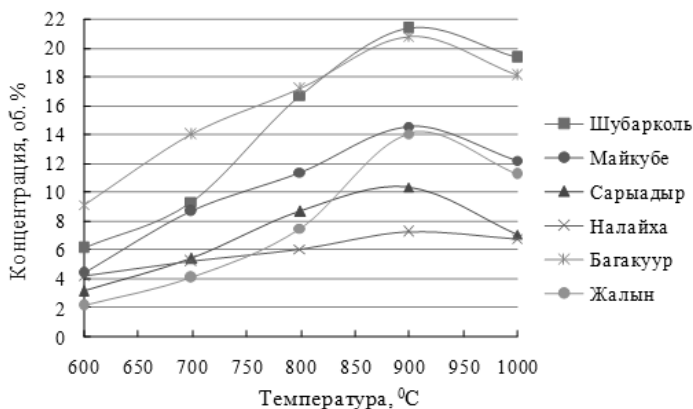
Как видно из представленных опытных данных, с повышением температуры от 600 до 900 °С для всех видов углей наблюдается

значительное увеличение концентрации компонентов  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , с постепенным уменьшением при температуре выше  $900^\circ\text{C}$ .

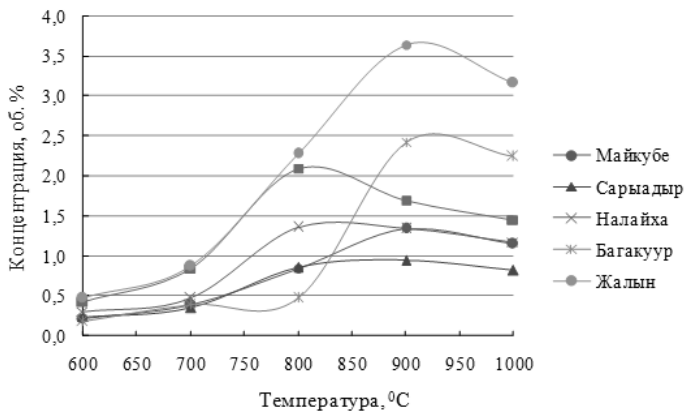
На рисунках 1–3 приведены зависимости выходов основных горючих компонентов газа ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) от температуры в интервале  $600\text{--}1000^\circ\text{C}$ , в таблице 2 представлены их суммарные выходы.



**Рисунок 1. Зависимость выхода  $\text{CO}$  от температуры**



**Рисунок 2. Зависимость выхода  $\text{H}_2$  от температуры**



**Рисунок 3. Зависимость выхода  $CH_4$  от температуры**

В целом можно отметить пригодность исследованных углей для проведения процесса газификации, из которых наиболее привлекательными являются угли месторождений Шубарколь, Багакуур (Монголия) и Майкубе, с суммарным выходом горючих компонентов газа более 30 % (таблица 2). Однако наблюдается выделение смолистых веществ, особенно сильное – у образцов углей месторождений Шубарколь и Налайха (являющихся длиннопламенными) и незначительное – у образцов Майкубенского и Жалынского углей, а это потребует дополнительной очистки полученного газа для его дальнейшей переработки в целевые продукты.

Таким образом, впервые проведено исследование паровоздушной газификации углей Казахстана и Монголии, с определением влияния температуры (в интервале 600-1000 °C) на выход основных горючих компонентов газа. Полученные результаты представляют определенный практический интерес для внедрения технологий газификации углей аналогичных месторождений в углеперерабатывающей промышленности.

### Список литературы:

1. Морозов А.Б. Разработка автотермической технологии производства полукокса и активированного угля: Дисс. ... канд. техн. наук: 01.04.14 / А.Б. Морозов. – Красноярск. – 2003. – 171 с.
2. Липович В.Г., Калабин Г.А., Калечиц И.В. и др. Химия и переработка угля. – М.: Химия, 1988. – 336 с.
3. Нагорнов А.Н. Исследование и разработка технологии газификации малозольных углей в плотном слое под давлением при паровоздушном дутье: дисс... на соискание ученой степени к.т.н. – Барнаул, 2010. – 124 с.

## КИНЕТИКА ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ УГЛЯ ШУБАРКОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Набиев Марат Аскенович**

младший научный сотрудник  
Химико-металлургического института им.Ж. Адышева,  
Республика Казахстан, г. Караганда  
E-mail: [nabiyev@list.ru](mailto:nabiyev@list.ru)

**Ермагамбет Болат Төлеухан-ұлы**

д-р хим. наук, профессор, директор  
ТОО «Институт химии угля и технологии»,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [bake.yer@mail.ru](mailto:bake.yer@mail.ru)

**Бектурганов Нуралы Султанович**

д-р техн. наук, профессор, академик НАН РК, первый вице-президент  
КазНАЕН, научный консультант АО НТЦ «Парасат»,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [coaltech@bk.ru](mailto:coaltech@bk.ru)

**Нурғалиев Нуркен Утеуович**

канд. хим. наук, ТОО «Институт химии угля и технологии»,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [nurgaliev\\_nao@mail.ru](mailto:nurgaliev_nao@mail.ru)

**Касенова Жанар Муратбековна**

магистр техники и технологии  
ТОО «Институт химии угля и технологии»,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [zhanar\\_k\\_68@mail.ru](mailto:zhanar_k_68@mail.ru)

**Бижанова Ляззат Нурлановна**

магистр технических наук,  
ТОО «Институт химии угля и технологии»,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [lyako-1991@mail.ru](mailto:lyako-1991@mail.ru)

## KINETICS OF THERMAL DECOMPOSITION OF SHUBARKOL FIELD COAL

**Marat Nabiyev**

*junior researcher of laboratory  
of Chemical and metallurgical institute of Zh. Adyshev  
Republic of Kazakhstan, Karaganda*

**Bolat Yermagambet**

*doctor of chemical science, professor, director  
of "Institute of coal chemistry and technology" LLP,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

**Nuraly Becturganov**

*doctor of technical science, professor, academician of National Academy  
of Science of the Republic of Kazakhstan, the first vice-president  
of Kazakh National Academy of Natural Sciences, scientific consultant  
of "Scientific and technological holding "Parasat" JCS,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

**Nurken Nurgaliev**

*candidate of chemical science,  
"Institute of coal chemistry and technology" LLP,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

**Zhanar Kassenova**

*master of technics and technology,  
"Institute of coal chemistry and technology" LLP,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

**Lyazzat Bizhanova**

*Master of technical science,  
"Institute of coal chemistry and technology" LLP,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

### АННОТАЦИЯ

В данной работе с использованием термогравиметрического анализа изучено влияние температуры и скорости нагрева угля Шубаркольского месторождения на кинетические параметры процесса термической деструкции. Анализ угля проводили при скоростях

нагрева 6–15 град/мин в средах азота и кислорода. При анализе кривых DTG выявлены три стадии основного разложения. Установлено, что скорость нагрева образцов угля существенно влияет на температуру и скорость процесса.

### ABSTRACT

The effect of temperature, heating rate of coal of Shubarkol deposit on kinetic parameters of thermal degradation process was studied using thermogravimetric analysis in this work. Analysis of coal was carried out at heating rates of 6–15°C / min in nitrogen and oxygen. Three main stages of decomposition were revealed during analysis of DTG curves. It is found that the rate of heating of the coal samples significantly affects on the process temperature and speed.

**Ключевые слова:** уголь; термогравиметрический анализ; термическая деструкция; кинетические параметры; стадии разложения; скорость нагрева.

**Keywords:** coal; thermogravimetric analysis; thermal decomposition; kinetic parameters; stages of decomposition; heating rate.

Изучение процессов, протекающих в температурном интервале основного разложения органической массы угля, позволяет понять как общие закономерности, так и специфику разложения твердых топлив. Основной температурный интервал используется для определения кинетики процесса, которая несет важную информацию как о характере структурно-химических превращений, так и о структуре и направлении термодеструкции угля [2].

В данной работе расчет кинетических параметров термического разложения угля месторождения Шубарколь проводили по методике Гюльмалиева А.М. [1], на основе результатов экспериментов, проведенных на термогравиметрическом анализаторе «Thermoster Eltra» (Германия). Характеристики Шубаркольского угля составили (%): влажность ( $W^r_t$ ) – 10,94, Летучесть ( $V^{daf}$ ) – 48,99, Зольность ( $A^r$ ) – 3,27.

Термогравиметрический анализ угля проводили при скоростях нагрева 6–15 град/мин в средах азота и кислорода. При анализе кривых DTG выявлены три стадии основного разложения с соответствующими пиками с максимумами скорости потери массы (точки перегиба). При скоростях нагрева от 6 до 15 град/мин на 3-й стадии разложения угля пики с максимумом скорости потери массы слабо выражены, что сопряжено с наложением нескольких процессов и невозможностью их раздельной оценки для проведения расчета кинетических параметров. Результаты обработки полученных данных приведены в таблицах 1–4.

Таблица 1.

Значения потери масс образцов угля и температуры  $T_{\max}$   
на различных стадиях разложения в среде азота

Скорость нагрева, °С /мин	Потеря массы от навески, %				$T_{\max}$ , °С		
	30– 300 °С	300– 600 °С	600– 900 °С	30– 900 °С	Стадии разложения		
					1	2	3
3	13,08	25,67	12,12	50,87	152	374	495
6	12,49	24,89	10,42	47,80	173	418	530
9	12,04	24,78	10,15	46,97	182	430	605
12	11,85	24,49	9,52	45,86	208	442	621
15	11,03	23,37	9,50	43,90	237	467	648

Таблица 2.

Значения потери масс образцов угля и температуры  $T_{\max}$   
на различных стадиях разложения в среде кислорода

Скорость нагрева, °С /мин	Потеря массы от навески, %				$T_{\max}$ , °С		
	30– 300 °С	300– 600 °С	600– 900 °С	30– 900 °С	Стадии разложения		
					1	2	3
3	11,80	28,43	16,73	56,96	158	375	479
6	11,25	26,76	14,28	52,29	175	412	526
9	10,87	25,32	12,29	48,48	190	436	556
12	9,92	24,72	11,83	46,47	210	463	571
15	9,18	24,14	11,21	44,53	227	509	618

Наибольшие потери массы угля в интервале температур 300–600 °С можно связать с выделением основной массы паров смолы и газообразных углеводородов с одновременным образованием паров так называемой пирогенетической воды.

Таблица 3.

Кинетические параметры термической деструкции угля  
в среде азота

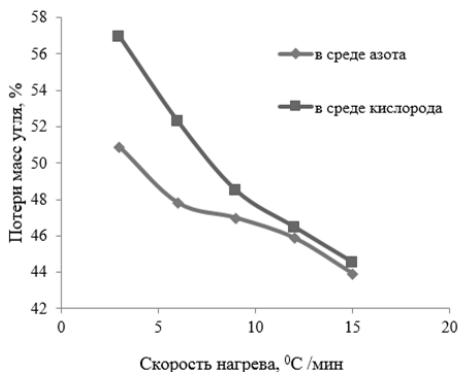
Скорость нагрева, °С /мин	Стадии основного разложения							
	1 стадия				2 стадия			
	$k_{\max}$ , $10^{-3} \text{ c}^{-1}$	$k_0$ , $10^2 \text{ c}^{-1}$	$E_{\text{акт}}$ , кДж/моль	$n$	$k_{\max}$ , $10^{-3} \text{ c}^{-1}$	$k_0$ , $10^4 \text{ c}^{-1}$	$E_{\text{акт}}$ , кДж/моль	$n$
3	2,40	6,2	61,3	1,02	1,69	1,04	87,5	1,13
6	2,99	3,1	49,2	1,05	1,28	2,43	72,6	1,09
9	1,52	6,84	48,2	1,10	1,50	1,68	67,5	1,03
12	3,71	6,96	47,3	1,08	1,65	0,98	89,3	1,11
15	2,54	6,08	32,9	1,04	1,26	0,85	96,3	1,07

Таблица 4.

**Кинетические параметры термической деструкции угля  
в среде кислорода**

Скорость нагрева, °С /мин	Стадии основного разложения							
	1 стадия				2 стадия			
	Кпер, 10 <sup>-3</sup> с <sup>-1</sup>	К <sub>0</sub> , 10 <sup>2</sup> с <sup>-1</sup>	Е <sub>акт</sub> , кДж/моль	n	Кпер, 10 <sup>-3</sup> с <sup>-1</sup>	К <sub>0</sub> , 10 <sup>4</sup> с <sup>-1</sup>	Е <sub>акт</sub> , кДж/моль	n
3	1,88	3,12	56,77	1,07	2,82	2,13	77,6	1,06
6	1,10	5,48	45,48	1,05	3,02	1,83	83,1	1,04
9	1,31	2,79	44,83	1,10	2,17	0,694	72,9	1,14
12	2,85	1,05	41,17	1,08	1,24	1,25	62,4	1,19
15	1,46	1,01	38,37	1,12	2,69	1,97	63,4	1,15

Повышение скорости нагрева приводит к некоторому снижению потери массы угля (50,87–43,9 % и 56,96–44,53 % для азота и кислорода соответственно). Отсюда видно, что на степень конверсии угля при термоллизе существенно влияет время пребывания частиц угля (рисунок 1).



**Рисунок 1. Значения потери масс образцов угля при скоростях  
нагрева 6–15 град/мин в средах азота и кислорода**

Общие потери массы угля в среде кислорода превышают аналогичные в среде азота, что объясняется окислительным действием первого. Данное различие более заметно особенно при низких скоростях нагрева 3 °С и 6 °С.

Увеличение скорости нагрева 3–15 град/мин на всех стадиях разложения заметно повышает значения температуры  $T_{\max}$  (общие изменения  $\Delta T_{\max}$  – от 83 до 153 °С для среды азота, от 69 до 139 °С для



среды кислорода) и скорости  $v_{\max}$  деструкции (соответствующие максимумам основного разложения на дифференциальных кривых DTG). Разница между активационными барьерами 1-й и 2-й стадий в пределах одинаковых скоростей нагрева составляет  $\approx 19\text{--}63$  кДж/моль (в среде азота) и  $\approx 21\text{--}38$  (в среде кислорода). В целом, можно отметить, что рассчитанные значения энергии активации стадий основного термического разложения угля соизмеримы с энергиями химических связей.

### Список литературы:

1. Гюльмалиев А.М., Головин Г.С., Гладун Т.Г. Теоретические основы химии угля. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 556 с.
2. Шевкопляс В.Н. Расчет основных кинетических параметров твердых топлив по данным дериватографического анализа // Вопр. химии и хим. технологии. – 2007. – № 2. – С. 179–183.

## БИНАРНЫЕ СИСТЕМЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**Осипов Владимир Александрович**

*канд. техн. наук, генеральный директор, ООО «Бин-НИТ»,  
РФ, г. Владимир*

**Данилов Дмитрий Владимирович**

*инженер-эксперт, ООО «ДиЭксПром»,  
РФ, г. Владимир*

**Шаталов Николай Ильич**

*инженер-эксперт, ООО «ДиЭксПром»,  
РФ, г. Владимир*

**Шаталов Илья Николаевич**

*инженер-эксперт, ООО «ДиЭксПром»,  
РФ, г. Владимир*

**Морозов Анатолий Николаевич**

*инженер-эксперт, ООО «Рассвет»,  
РФ, г. Владимир  
E-mail: [bin-nit@mail.ru](mailto:bin-nit@mail.ru)*

## BINARY SYSTEM OF ULTRASONIC TESTING OF WELDED JOINTS

**Vladimir Osipov**

*candidate of Science, general director, Ltd. Bin-NIT,  
Russia, Vladimir*

**Dmitry Danilov**

*engineer-expert, Ltd. DiEksProm,  
Russia, Vladimir*

**Nikolai Shatalov**

*engineer-expert, Ltd. DiEksProm,  
Russia, Vladimir*

**Ilya Shatalov**

*engineer-expert, Ltd. DiEksProm,  
Russia, Vladimir*

**Anatoly Morozov**

*engineer-expert, Ltd. Rasvet,  
Russia, Vladimir*

### АННОТАЦИЯ

В статье дается оценка бинарных систем ультразвукового контроля. Выявляются пути широкого применения процессорных дефектоскопов, бинарных акустических трактов и численных методов при ультразвуковом контроле.

### ABSTRACT

The article provides an assessment of binary systems of ultrasonic testing. Identify ways of wide application processor flaw, binary acoustic paths and numerical methods for ultrasonic testing.

**Ключевые слова:** техническое диагностирование, бинарные системы ультразвукового контроля.

**Keywords:** technical diagnosis, binary system of ultrasonic testing.

Диверсификация экономики стран не возможна без развития строительной индустрии. Неразрушающий контроль в развитых странах в настоящее время занимает от 5–10 % стоимости

строительных работ. При проведении технического диагностирования опасных производственных объектов в рамках работ по экспертизе промышленной безопасности и технического освидетельствования одним из эффективных методов неразрушающего контроля является ультразвуковой контроль (УК) [1]. Наш опыт применения ультразвуковой дефектоскопии на различных опасных производственных объектах, показывает, что УК может использоваться для контроля практически всех типов сварных соединений, имеющих толщину основного материала более 5 мм. Проблемами неразрушающего контроля занимаются головные научно-исследовательские институты, такие как МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦНИИТмаш, НИИ-мостов, НИИХИМмаш. В промышленности используются различные дефектоскопы как отечественного производства УД2-12, УДЦ-201П, «Скаруч»-«АЛТЕС-ЛТД», «Пеленг-415»-НПК «ЛУЧ», «Пеленг», так и зарубежных фирм «Крауткремер», «Сонатест», «Панаметрик», «Намикон». Развитие автоматизации методов УК идет по пути многофункциональности и роботизации технологий. В наших исследованиях мы используем сканер типа «Скаруч» фирмы «Алтеc», г. Москва. Основное его назначение контроль сварных соединений сосудов и трубопроводов с толщиной стенки 4..40 мм. Сканер обеспечивает идентификацию типа дефекта, измерение их условных размеров и архивирование результатов контроля. В сканере имеются системы автоматического слежения за акустическим контактом и чувствительного аппарата, а также самоконтроля работоспособности электроники и акустики.

Появление в промышленности более сложных технических конструкций предъявляет к экспертным организациям необходимость использования перспективных подходов к выбору методик УК. В нашем понимании на смену ручного контроля, который все еще преобладает при техническом диагностировании, должны прийти бинарные системы. Бинарные системы подразумевают использование двух компонентов с целью получения новой более эффективной технологии. Для метода УК бинарные системы можно разделить на три группы: оператор – процессорный дефектоскоп; бинарные акустические системы (БС); электронные базы знаний с использованием облачных ЭВМ (центры коллективного пользования на базе ведущих НИИ) – системы автоматизированного проектирования методов (САПР) и средств ультразвукового контроля для операторов.

Дефектоскопы со встроенным процессором и заданным программным обеспечением [2]. Применение процессорных дефектоскопов существенно облегчает труд и снижает психофизическую

нагрузку на оператора, повышается производительность контроля за счет сокращения времени на настроечные операции при переходе с одного объекта на другой и повышает достоверность контроля. Последнее обеспечивается, возможностью накопления результатов измерений, измерением максимальных параметров сигнала при повторном сканировании, проведением настройки дефектоскопа в лабораторных условиях, что снижает уровень ошибок. Задание времени прохождения УЗК в призме, что повышает точность измерения координат; одновременное измерение двух координат дефекта, что необходимо при контроле сложных по геометрии объектов; запоминание осциллограммы дефектного участка и его анализ в лабораторных условиях с использованием САПР; архивирование результатов контроля на ПЭВМ для мониторинга за развитием дефектов обнаруженных в конструкции; отображение участков с нарушением акустического контакта, что позволяет повторно их сканировать. Современные уровень УК должен обеспечивать возможность реконструировать трех мерное изображение дефекта. Реконструированное изображение должно быть документироваться и анализироваться с использованием программного обеспечения. Перспективным методом УК сварных соединений большой толщины является вычислительная томография. В основе ее лежит принцип прозвучивания сфокусированным ультразвуковым лучом исследуемого слоя под различными ракурсами в сотнях направлениях, измерений амплитуд отраженных и прошедших сигналов и реконструкция изображения по массиву измеренных данных.

Бинарная акустическая система состоит из двух наклонных пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП), установленных с одной стороны сварного соединения, у которой фокус, т. е. точка пересечения прямого и зеркально-отраженного от донной поверхности лучей, осуществляет сканирование заданного поперечного сечения соединения по траектории сканирования, а время прохождения сигнала в акустическом тракте на пути излучатель-отражатель-приемник постоянно [2]. Параметры БС (расположение ПЭП относительно друг друга и оси шва и углы ввода) определяются конструкцией соединения, статистикой дефектности и задачами контроля. Классификация бинарных акустических систем представлена в издании [8]. Бинарные методы позволяют получать и измерять следующие характеристики дефектов:

а. амплитуду сигнала, излученного одним, дважды зеркально отраженным от дефекта и донной поверхности, и принятого другим ПЭП ( $A_3$ );

б. амплитуду эхо-сигнала, излученного и принятого ближним к дефекту ПЭП ( $A_{обр}$ );

в. амплитуду эхо-сигнала, излученного и принятого дальним ПЭП( $A'_{обр}$ );

г. условные высоту  $\Delta H_3$  и ширину  $\Delta X_3$ , измеренные по динамике изменения сигнала  $A_3$  при взаимном симметричном перемещении;

д. условные высоту  $\Delta H_{обр}$  и ширину  $\Delta X_{обр}$ , измеренные по динамике изменения сигнала  $A_{обр}$ ;

е. условные высоту  $\Delta H'_{обр}$  и ширину  $\Delta X'_{обр}$ , измеренные по динамике изменения сигнала  $A'_{обр}$

ж. условную протяженность дефекта вдоль шва  $\Delta L$ ;

з. угол наклона  $\varphi$  плоскостного дефекта.

Первичные информативные признаки б, в, д, е, ж измеряются при обычном прозвучивании одним ПЭП, признаки а, г, з – при прозвучивании только БС. БС позволяют расширить представление об отражательных характеристиках дефекта и сделать правильную оценку о его величине и типе. На наш взгляд частично бинарные системы реализуются в акустическом тракте автоматизированного дефектоскопа типа «Скаруч» фирмы «Алтес» см. рис. 1.



**Рисунок 1. Схема контроля дефектоскопа «Скаруч»**

Применение суперкомпьютеров в акустике, в которых реализуются методы вычисления нестационарных волновых полей сложных тел с учетом изменения по пространственным координатам физических свойств исследуемого материала, играет первостепенную роль. Высокая стоимость натуральных экспериментов и невозможность найти аналитическое решение задачи распространение УЗ-импульса, необходимость более полного статического анализа приводят к использованию численных методов в УЗ-дефектоскопии. Бинарная

технология использования численных методов состоит из следующих этапов. Сначала определяются требования к качеству и надежности рассматриваемого объекта контроля, оцениваются типы наиболее опасных и часто встречающихся дефектов. Затем строится акустическая модель. Далее выбирается численный метод, доступный для реализации с учетом возможности ПЭВМ. Для реализации численного метода составляется программа или приобретается готовая. После отладки программы проводятся вычисления и анализ результатов. Полученные результаты изучаются с точки зрения их соответствия исследуемому волновому явлению и при необходимости уточняется акустическая модель. В случае адекватности полученных результатов, на их основе разрабатывают методику УЗ-контроля и проводят ее натурную проверку. Существует множество универсальных численных методов для решения нестационарного полного уравнения для сложной неоднородной среды. Большую популярность в механике сплошных сред завоевал метод конечных элементов (МКЭ) [2]. Главное достоинство МКЭ заключается в том, что он обладает гибкостью и пригодностью для описания объектов контроля со сложной геометрией. В связи с большим разбросом физико-акустических параметров материала (аустенитные сварные швы, композиты, полимерные материалы, границы раздела сред) для решения задач используются схемы интегрирования с малым шагом дискретизации во времени, что приводит к значительным затратам процессорного времени и увеличивает риск ошибки решения. При необходимости решения задач УК с помощью численных методов эффективнее воспользоваться облачными вычислениями центров коллективного пользования ведущих НИИ.

Исходя из выше сказанного, мы считаем, что будущее в УК за широким внедрением многофункциональных – бинарных систем.

### **Список литературы:**

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) от 14.11.2013 г. № 538.
2. Щербинский В.Г., Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль сварных соединений – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 496 с.:ил.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ ПО ИННОВАЦИОННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

**Морозов Виктор Николаевич**

канд. техн. наук, генеральный директор ООО «Техтрансстрой»  
РФ г. Самара  
E-mail: [ttstroy@tts63.ru](mailto:ttstroy@tts63.ru)

**Краснощеков Игорь Леонидович**

канд. техн. наук, главный инженер ООО «Техтрансстрой»  
РФ г. Самара  
E-mail: [ttstroy@tts63.ru](mailto:ttstroy@tts63.ru)

**Павлович Игорь Львович**

ведущий инженер СГАУ  
РФ г. Самара  
E-mail: [i\\_g\\_o\\_r\\_ip@mail.ru](mailto:i_g_o_r_ip@mail.ru)

**Павлова Мария Игоревна**

менеджер АО «Альфа-банк»  
РФ г. Самара  
E-mail: [i\\_g\\_o\\_r\\_ip@mail.ru](mailto:i_g_o_r_ip@mail.ru)

**Красинский Дмитрий Борисович**

канд. техн. наук, заведующий НИЛ-57 СГАУ  
РФ г. Самара  
E-mail: [sshend@mail.ru](mailto:sshend@mail.ru)

**Павлович Лев Анатольевич**

канд. техн. наук, стар. науч. сотрудник,  
ведущий науч. сотрудник СГАУ  
РФ г. Самара  
E-mail: [sshend@mail.ru](mailto:sshend@mail.ru)

## OPTIMIZATION OF INVESTMENT PROJECTS MODERNIZATION OF SHIPPING LOCKS ON INNOVATIVE PERFORMANCE

**Victor Morozov**

*candidate tech. Sciences, General Director of LLC "Tetramaster"  
Russian, Samara*

**Igor Krasnoshchekov**

*candidate tech. Sciences, chief engineer of LLC "Tetramestre"  
Russian, Samara*

**Igor Pavlovich**

*lead engineer SSAU  
Russian, Samara*

**Marija Pavlov**

*manager of JSC "Alpha-Bank"  
Russian, Samara*

**Dmitry Krasinski**

*candidate tech. Sciences, head of the NIL-57 SSAU  
Russian, Samara*

**Lev Pavlovich**

*candidate tech. Sciences, old. researcher, leading scientific employee SSAU  
Russian, Samara*

### АННОТАЦИЯ

Приведены результаты работ по оптимизации инвестиционных проектов направленных на модернизацию судоходных шлюзов. Предложена дифференциальная оценка новизны проектируемого оборудования. Показана существенная роль показателей новизны на инвестиционные затраты.

### ABSTRACT

The results of optimization of investment projects aimed at modernization of shipping locks. The proposed differential evaluation of the novelty of the designed equipment. The significant role of indicators of innovation on the investment costs.



**Ключевые слова:** инвестиция; инновация; проект; шлюз.  
**Keywords:** the investment; innovation; project; gateway.

В рамках реализации Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России», подпрограммы «Внутренний водный транспорт» проводится реконструкция судоходных гидротехнических сооружений с заменой устаревшего оборудования, например, приводов ворот и затворов шлюзов на современный гидропривод с автоматизированной системой управления, контроля и диагностики. Цель работ – повышение безопасности и пропускной способности шлюзов [1, с. 837–842].

В настоящее время в эксплуатации находятся 309 судоходных шлюзов, отличающихся по напорности, габаритам, климатическим условиям эксплуатации, в т. ч. на реке Волге, Волго-Донском канале, Волго-Балтийском канале и др. Шлюзы относятся к объектам 1 класса опасности. При ширине шлюза 18–30 метров для перемещения ворот используются два независимых гидропривода, установленных на разных сторонах шлюза. При работе такого комплекса возможен перекоп и заклинивание ворот в направляющих шлюза. Отказы такого типа приводят к значительным затратам при ремонте.

Разработка проектов и изготовление сложного крупногабаритного гидропривода с гидроцилиндром, ход штока которого составляет 5–10 метров, грузоподъемность до 2,5 МН, относится к индивидуальному или мелкосерийному производству, при котором доводка и испытания, как правило, осуществляются в условиях опытной эксплуатации.

Особенностью модернизации является также требования максимального использования инновационных решений. При этом всегда существуют значительные риски конструкторской разработки, что будут использованы либо технически устаревшие решения, либо решения, которые в процессе опытной эксплуатации не дадут положительных результатов из-за неучета ряда существенно влияющих факторов и ограничения импортных поставок. Существующая проблема связана также с ограничением объема инвестиций на модернизацию оборудования шлюзов, в т. ч. на проведение испытаний.

Известна методика расчета затрат на проектирование сложных систем с автоматизированной системой управления технологическим процессом в зависимости от трудоемкости работ, оцениваемой по основным факторам и выраженной в баллах [2].

Методика предусматривает дифференциальную степень научно-технологической новизны объекта управления, в т. ч. когда объект действующих аналогов не имеет (4 балла) и когда объект является принципиально новым (8 баллов). Общая сумма баллов для гидропривода ворот современного шлюза с принятыми требованиями по характеру протекания технологического процесса, количеству технологических операций, степени развитости функций и др. – от 13 до 17 баллов. Относительная весовая доля инновационных показателей от 20 % до 60 %. Максимальная инвестиционная привлекательность проекта – его минимальная балльная оценка и минимальный риск проектных работ.

Анализ инновационных решений сложных современных объектов единичного или мелкосерийного производства позволил разработать следующую оценочную классификацию (таблица 1).

**Таблица 1.**

**Оценочная классификация новизны разрабатываемого объекта**

№	Степень	Количество баллов
1	Новизна объекта защищена патентом со сроком регистрации менее 3 лет. Имеется оборудование для испытания объекта	5
2	Новизна основных элементов объекта защищена патентами со сроками регистрации менее 3 лет. Имеется оборудование для их испытаний	6
3	Инновационная разработка объекта с регистрацией объекта в Государственном реестре изобретений РФ	7
4	Инновационная разработка объекта и оборудования для его испытаний с регистрацией объекта и оборудования в Государственном реестре изобретений РФ. Объект принципиально новый	8

В таблице 1 численные значения ступеней новизны приняты исходя из принципа оптимизации инвестиционных затрат при проектировании сложных крупногабаритных объектов с автоматизированной системой управления единичного или мелкосерийного изготовления. Чем качественнее проведена предпроектная подготовка проекта, в т. ч. патентные исследования, проверка работоспособности моделей объекта на моделирующих испытательных стендах и комплексах с максимальной реализацией внешних возмущающих факторов, тем меньше риск конструкторской разработки. Так при разработке гидропривода подъемно-опускных ворот шлюза № 26 Балаковского РГиС был использован патент на изобретение

№ 2503858 «Способ регулирования скорости объемного гидропривода с комбинированной частотно-дрессельной системой управления при пуске под нагрузкой, опубл.10.01.2014 г. Модель гидропривода и система его управления была испытана на моделирующем комплексе 100-КЭ (Патент РФ на полезную модель № 117541 опубл. 27.06.2012 «Стенд для динамических испытаний цилиндров» и патент «Способ дегазации жидкости и устройства для его осуществления» № 2556937 опубл. 20.07.2015, патент «Способ испытания гидроцилиндра на функционирование под нагрузкой, ресурс и наработку до отказа» № 2511886, опубл. 10.04.2014).

Использование современных инновационных решений и экспериментальная проверка работоспособности гидропривода позволила снизить инвестиционные затраты на проектирование по сравнению с расчетными по методике приведенной в справочнике базовых цен [2].

Опытная эксплуатация гидропривода на шлюзе в период навигаций 2014–2015 годов подтвердила заявленные характеристики, величина перекоса сторон подъемно-опускных ворот при судопропуске снижена в 5 раз по сравнению с максимально допустимыми значениями.

### Список литературы:

1. Морозов В.Н. Научно-технические и экономические аспекты стратегии модернизации механического оборудования шлюзов судоходных гидротехнических сооружений // Известия Самарского научного центра РАН, том 17, № 2(4), 2015: 17 Актуальные проблемы машиностроения. – Самара, Издательство Самарского научного центра РАН, 2015., – С. 837–842.
2. Справочник базовых цен на разработку технической документации на АСУ ТП (База нормативной документации на сайте: [www.complexdoc.ru](http://www.complexdoc.ru)) [Электронный ресурс] – Режим доступа. – Лев Анатольевич URL: [http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/485838/spravochnik\\_bazovykh\\_tsen\\_na\\_razrabotku\\_tekhnicheskoi\\_dokumentatsii\\_na\\_avto.pdf](http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/485838/spravochnik_bazovykh_tsen_na_razrabotku_tekhnicheskoi_dokumentatsii_na_avto.pdf) (дата обращения 04.09.2015 г.).

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕРМОСИЛОВОЙ ОБРАБОТКИ И ОБРАБОТКИ ХОЛОДОМ

***Воронов Дмитрий Юрьевич***

*канд. техн. наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии  
машиностроительного производства»,  
Тольяттинский государственный университет,  
РФ, г. Тольятти  
E-mail: [dmitridmitrie@yandex.ru](mailto:dmitridmitrie@yandex.ru)*

***Попов Александр Валерьевич***

*магистрант Тольяттинского государственного университета,  
РФ, г. Тольятти  
E-mail: [PopovAlexandr92@yandex.ru](mailto:PopovAlexandr92@yandex.ru)*

## EQUIPMENT FOR THERMO TREATMENT AND COLD TREATMENT

***Dmitry Voronov***

*candidate of technical Sciences, docent of the chair "Equipment  
and technology of machine-building manufacture, of Togliatty State University,  
Russia, Togliatty*

***Alexander Popov***

*student of Togliatty State University,  
Russia, Togliatty*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье предлагается способ повышения качества обработки маложестких валов путем применения термосиловой обработки (ТСО) и обработки холодом. Была разработана установка и технологическая оснастка для проведения термосиловой обработки и обработки холодом, показан принцип ее работы.

### ABSTRACT

The article suggests a way to improve the quality of the processing malaesti shafts by application of thermal treatment and cold treatment. Was developed and technological equipment for carrying out thermal treatment and cold treatment, show how it works.

**Ключевые слова:** маложесткие валы; термосиловая обработка; обработка холодом.

**Keywords:** malatesta shafts; thermal treatment; cold treatment.

В настоящее время одной из самых распространенных деталей современных машин являются валы. Валы классифицируются по конфигурации, размерам и материалу.

Наиболее сложны в изготовлении маложесткие валы. К ним предъявляют высокие требования к параметрам точности геометрических форм и взаимному расположению поверхностей, линейных размеров и качеству поверхностей. Эти требования достигаются соответствующей технологией обработки, применяемым станочным оборудованием.

При достижении заданной точности обработки нежестких деталей возникают значительные трудности, обусловленные особенностью конструкции маложестких валов, а также высокими упругими свойствами применяемых материалов, вызывающих упругие деформации на всех стадиях обработки, сборки и эксплуатации. Происходит смещение технологических баз, образуются погрешности формы и размеров, ухудшается качество поверхностного слоя, при этом не полностью используются технологические возможности станка.

Основной проблемой при изготовлении таких валов, является наличие в материале детали значительного уровня и неравномерного распределения внутренних остаточных напряжений, появление которых в значительной мере обусловлено технологическими причинами. Значительную роль в формировании поля внутренних напряжений играет остаточный аустенит, который с течением времени может постепенно превращаться в бейнит, вызывая изменение размеров готовых изделий, т. е. приводя к короблению маложестких деталей.

Однако для некоторых материалов, из которых изготавливаются маложесткие валы, данный процесс сопряжен с определенными трудностями. Это, прежде всего, касается материалов, у которых процесс конца мартенситных превращений происходит при температурах от  $-10$  до  $-80$  °С. Данной группе материалов для окончания мартенситного превращения требуется специальная обработка – обработка холодом [8].

Сущность процесса обработки холодом заключается в дополнительном, более полном превращении остаточного аустенита в закаленной стали в мартенсит.

Конец мартенситного превращения расположена при температурах ниже  $20$  °С. При обработке холодом деталей продолжается

процесс закалки, прерванный остановкой при температуре 20 °С; аустенит продолжает превращаться в мартенсит.

Выдержка закаленной стали при температуре 20 °С перед обработкой холодом стабилизирует остаточный аустенит. В результате эффект обработки холодом (приrost количества мартенсита и повышение твердости) снижается или даже отсутствует. Для получения необходимого эффекта от обработки холодом следует учитывать, что различные по составу стали обладают различной склонностью к стабилизации остаточного аустенита после закалки.

Отпуск перед обработкой холодом стабилизирует остаточный аустенит. Поэтому обработку холодом необходимо проводить непосредственно после закалки, а низкий отпуск (для снятия части внутренних напряжений) – после обработки холодом. Выдержка при низких температурах не увеличивает количества мартенсита, поэтому необходимо лишь сквозное промораживание деталей. Во избежание образования трещин при обработке холодом нельзя охлаждать сталь, еще не остывшую до температуры 20 °, а детали и инструмент сложной формы для замедления охлаждения целесообразно обертывать асбестом или бумагой.

Для выполнения этого метода была разработана установка и технологическая оснастка для термосиловой обработки и обработки холодом.

Система обработки холодом в установке обеспечивается с помощью автоматизированного процесса. Из-за отсутствия контакта детали с окружающей средой между обработкой холодом и отпуском не происходит поверхностная коррозия. Благодаря этому достигается яркая металлическая поверхность, характерная для вакуумной термообработки.

Маложесткие валы изготавливают по базовой технологии, предоставленной на рисунке 1.

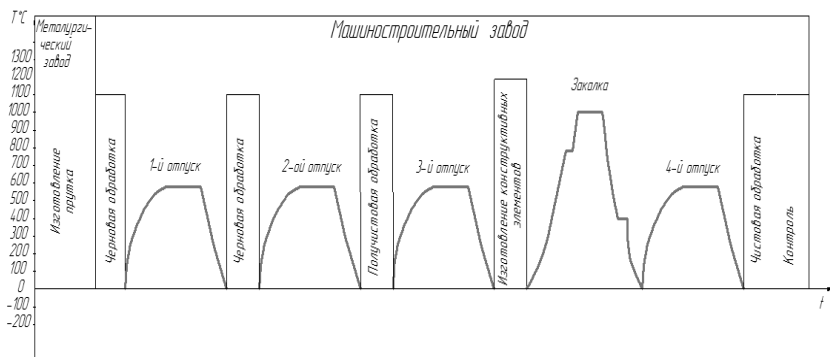
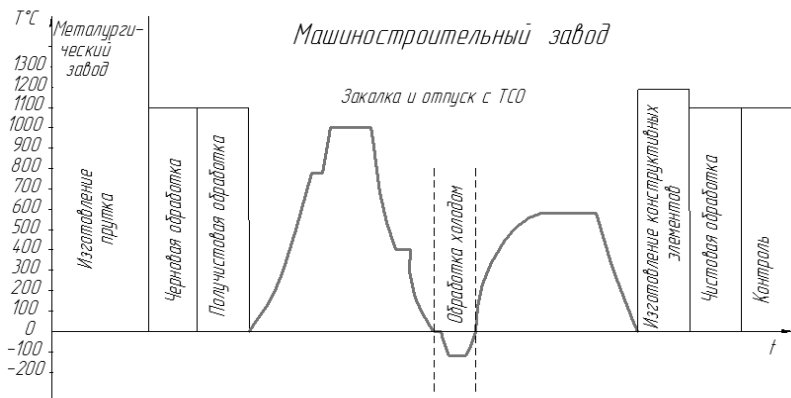


Рисунок 1. Схема изготовления валов по базовой технологии

Изготовление таким способом маложестких валов не экономично и не эффективно. Чтобы повысить эффективность изготовления валов и экономичность, используем ТСО и обработку холодом для изготовления таких валов. Схема изготовления маложестких валов с применением ТСО и обработки холодом представлена на рисунке 2.

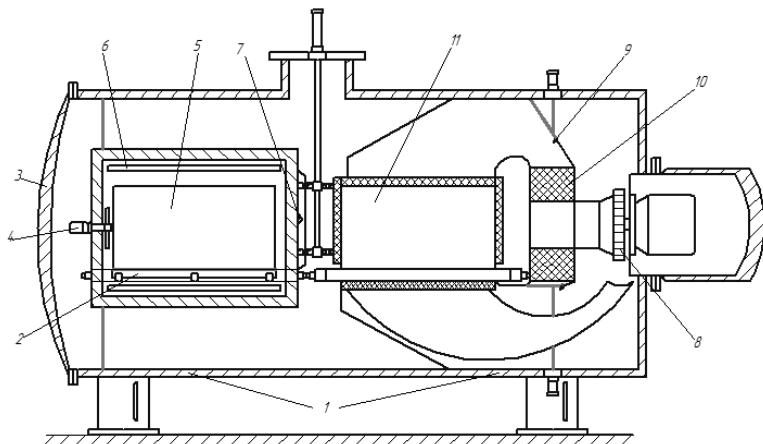


**Рисунок 2. Схема изготовления маложестких валов с ТСО и обработкой холодом**

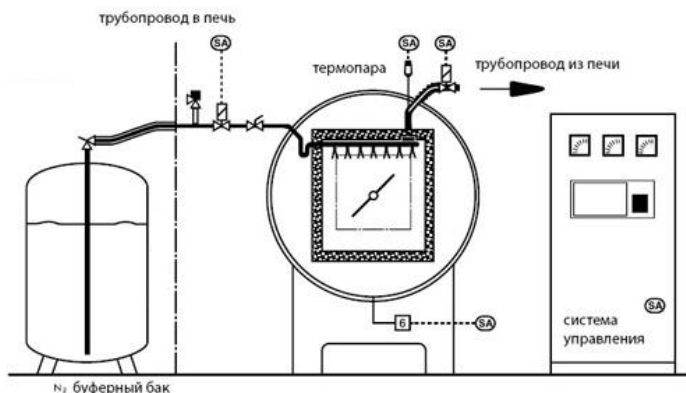
Обработка холодом проводится в специальной двухкамерной установке. Благодаря обработке на этой установке обеспечиваются хорошие условия охлаждения и более точно регулируется скорость закалки. Принцип работы двухкамерной вакуумной печи заключается в том, что печь имеет 2 разные камеры для нагрева и для охлаждения. Оснастка перемещается из камеры нагрева в камеру охлаждения при помощи автоматической системы загрузки.

На рисунке 3. представлена установка для ТСО и обработки холодом.

Разработанная установка содержит двустенный вакуумный корпус (1) с газовыми клапанами (9), теплообменником (10) и турбиной подачи газа(8). Вал загружается через переднюю систему загрузки (3) и помещается в камеру нагрева (5). Вал нагревается с помощью системы нагрева (6). Для равномерного распределения газа по камере нагрева установлен вентилятор(4). При достижении требуемой температуры нагрева, садка перемещается через затвор блокировки камеры нагрева в камеру охлаждения (11) с помощью погрузчика (2).



**Рисунок 3. Установка для ТСО и обработки холодом**



**Рисунок 4. Схема работы печи**

Принцип работы печи заключается в подаче жидкого азота через систему сопел в рабочую камеру. В процессе подачи газ интенсивно переходит из жидкого состояния в газообразное. Объем азота в камере увеличивается в 700 раз. Чтобы равномерно охладить оснастку в камере используется вентилятор, который перемешивает газ, что дает возможность охладить садку до температуры  $-85^{\circ}\text{C}$ . Теплый газ удаляется из рабочей камеры по отводному каналу.

Благодаря обработки холодом в разработанной двухкамерной печи, можно обрабатывать широкую гамму сталей и сплавов без



образования оксидного слоя и короблений, достигнуть полного отсутствия трещин на поверхности деталей вследствие возникающих напряжений, получить светлую и чистую поверхность детали. Метод такой обработки позволяет значительно уменьшить трудоёмкость изготовления вала, а также повысить его срок службы.

### Список литературы:

1. Воронов Д.Ю., Драчев О.И. Пути снижения коробления маложестких валов, путем применения термосиловой обработки. – М.: Журнал «Машиностроитель», № 6, 2001 год.
2. Воронов Д.Ю., Драчев О.И., Расторгуев Д.А.. Новая технология термосиловой обработки маложестких валов. – М.: Журнал «Известия» № 1, стр. 32–35. Волгоград 2004 год.
3. Воронов Д.Ю., Драчев О.И., Расторгуев Д.А.. Экспериментальная установка для равномерного осевого пластического деформирования маложестких деталей при термосиловой обработке. – М.: Журнал «Известия» № 9, стр. 15–18. Волгоград 2004 год.
4. Воронов Д.Ю., Драчев О.И., Расторгуев Д.А.. Устройство для термосиловой обработки. Патент на изобретение от 12.05.2003. № 2232198.
5. Воронов Д.Ю., Драчев О.И., Расторгуев Д.А.. Способ термосиловой обработки длинномерных осесимметричных деталей и устройство для его осуществления. Патент на изобретение от 19.12.2003. № 2254383.
6. Воронов Д.Ю., Драчев О.И., Расторгуев Д.А. Устройство для термосиловой обработки осесимметричных деталей. Патент на изобретение от 20.09.05. № 2260628.
7. Воронов Д.Ю., Шевелев И.В. Физическая сущность процессов протекающих при термосиловой обработке маложестких деталей типа «вал». – М.: «Проблемы проектирования и автоматизации машиностроительных производств». Сборник научных трудов. Волгоградский государственный технический университет; ЗАО «ОНИКС». Волгоград, Тольятти, Ирбит 2013.
8. Воронов Д.Ю., Логинов Н.Ю., Шевелев И.В. Обзор существующих и перспективные тенденции развития технологий изготовления маложестких длинномерных валов. – М.: «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2012» Сборник научных трудов SWorld. Международной научно-практической конференции. Выпуск 3. Том 8. Одесса 2012.
9. Воронов Д.Ю., Репин К.А., Шевелев И.В. Разработка функциональной схемы системы автоматизированного управления термосиловой обработки многоступенчатых маложестких валов. – М.: Сборник научных трудов SWorld Международной научно-практической конференции «Современные направления развития теоретических и прикладных исследований 2013»; Одесса, 2013.

10. Воронов Д.Ю., Репин К.А., Шевелев И.В. Описание конструкции и принципа работы лабораторной установки для проведения экспериментальных исследований по термосиловой обработке длинномерных маложестких деталей. – М.: Сборник научных трудов SWorld. Международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013»; Одесса, 2013.
11. Воронов Д.Ю., Репин К.А., Шевелев И.В. Обзор существующих и перспективные тенденции развития технологий изготовления ходовых винтов. – М.: Сборник научных трудов SWorld Международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013»; Одесса, 2013.

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

***Сазанова Татьяна Александровна***

*студент кафедры нефтегазовое дело,  
Омского государственного технического университета,  
РФ, г. Омск  
E-mail: [s a z a n o v a@mail.ru](mailto:sazanova@mail.ru)*

***Суима Вероника Евгеньевна***

*студент кафедры нефтегазовое дело,  
Омского государственного технического университета,  
РФ, г. Омск  
E-mail: [Suima.n3596@gmail.com](mailto:Suima.n3596@gmail.com)*

***Щербань Кирилл Владимирович***

*ассистент кафедры нефтегазовое дело,  
Омского государственного технического университета,  
РФ, г. Омск  
E-mail: [sherban.kirill@gmail.com](mailto:sherban.kirill@gmail.com)*

## ANALYSIS OF MODERN INSULATION GAS PIPELINE USED IN COMPLEX ECOLOGICAL CLIMATIC CONDITIONS

*Tatiana Sazanova*

*student of the Department of oil and gas business,  
Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk*

*Veronica Suima*

*student of the Department of oil and gas business,  
Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk*

*Kirill Shcherban*

*assistant Department of oil and gas business,  
Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье был проведен аналитический научно-технический обзор типовых материалов для теплоизоляции магистральных трубопроводов, выделены основные критерии и требования, достоинства и недостатки, а также рассмотрены перспективные решения данной проблемы и направления дальнейшего их развития.

### ABSTRACT

This article was conducted analytical scientific and technical review of typical materials for thermal insulation of pipelines, highlights the main criteria and requirements, advantages and disadvantages, and considered potential solutions to this problem and the direction of their further development.

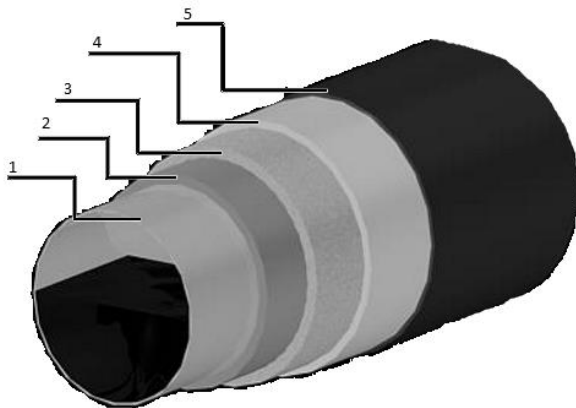
**Ключевые слова:** трубопровод; теплоизоляция.

**Keywords:** pipeline; insulation.

Необходимость в разработке нового поколения изоляционных материалов, способных обеспечивать заданный тепловой режим при высоких средних температурах перекачки газа в сложных геолого-климатических условиях, не теряет своей актуальности с каждым годом. Поэтому в данной работе мы решили сделать аналитический научно-технический обзор типовых материалов для теплоизоляции

магистральных трубопроводов, подобрать прототип эффективного теплоизоляционного слоя, рассмотреть перспективные направления для решения этой проблемы.

Изоляция магистральных нефтепроводов производится по следующей схеме:



**Рисунок 1. Порядок изоляции нефтепровода: 1 – труба, 2 – антикоррозионная защита, 3 – теплоизоляционный материал, 4 – пароиоляция, 5 – защитный слой**

Теплоизоляционные материалы – материалы, применяемые в строительстве жилых и промышленных зданий, тепловых агрегатов и трубопроводов с целью уменьшить тепловые потери в окружающую среду. Теплоизоляционные материалы характеризуются пористым строением и, как следствие этого, малой плотностью и низкой теплопроводностью [2].

В литературе существуют множество классификаций теплоизоляционных материалов, например, по назначению, по плотности, и т. д. Приведем пример нескольких классификаций:

1. По назначению: 1) строительные; 2) технологические; 3) специальные.
2. По исходному сырью: 1) неорганические; 2) органические.
3. По плотности: 1) особо легкие; 2) легкие; 3) тяжелые.
4. По возгораемости: 1) негоряемые; 2) трудногоряемые; 3) горяемые [4].

К теплоизоляции магистральных нефтепроводов выдвигаются следующие требования:

- Тепловая изоляция должна соответствовать требованиям соответствующих нормативных документов, таких как, СНиП 2.04.14-88, СНиП 41-03-2003, РД-05.00-45.21.30-КТН и т. д.

- Тепловая изоляция независимо от способа прокладки должна обеспечивать свою функцию, в течение эксплуатационного срока трубопровода.

- Тепловую изоляцию трубопроводов больших диаметров (от 720 мм до 1220 мм включительно) допускается осуществлять с применением крупноразмерных промышленных сборных теплоизоляционных конструкций, имеющих надежное гидроизоляционное, защитное покрытие [1].

- Для теплоизоляционного слоя оборудования и трубопроводов с отрицательными температурами следует применять теплоизоляционные материалы и изделия со средней плотностью не более 200 кг/м<sup>3</sup> и расчетной теплопроводностью в конструкции не более 0,07 Вт/(м·°C) [5].

Оптимальный теплоизоляционный материал, соответствующий нормативным документам и другим требованиям, выбирается, для конкретного участка трубопровода, по следующий критериям:

1. Способность сохранять заданный тепловой режим

- метеорологических условий
- технических условий

2. Стоимость, которая включает в себя:

- основной материал
- второстепенные материалы
- изготовление
- монтаж

3. Срок эксплуатации, который зависит:

- от технологии монтажа
- от зон распространения сейсмической активности
- от климатических условий

На сегодняшний день рынок теплоизоляционных материалов очень широк, чтобы показать разнообразие выбора, мы провели сравнительный обзор некоторых теплоизоляционных материалов.

Минеральная вата- это волокнистый материал, получаемый из силикатных расплавов горных пород с добавлением органического связующего компонента.

Коэффициент теплопроводности, Вт/м\*К – 0,036.

Цена: от 500 руб. за упаковку.

Преимущества:

- Хорошие теплоизолирующие свойства,
- Срок эксплуатации до 50 лет,
- Не горит.

Недостатки:

- Требуется дополнительной пароизоляции и гидроизоляции.

Пенополиуретан – группа газонаполненных пластмасс на основе полиуретанов, на 85–90 % состоящих из инертной газовой фазы.

Коэффициент теплопроводности, Вт/м\*К – 0,029.

Цена: от 100 руб. за кг. + установка от 5000 руб.

Преимущества:

- Нанесения на поверхность любой формы,
- Широкий температурный диапазон (от -60 до +150 °С),
- Срок эксплуатации не менее 30–40 лет,
- Целостный слой покрытия, без стыков,

Недостатки:

- Горит, выделяя токсичные вещества,
- Для монтажа требуется специальная установка.

Экстрол – это экструзивный пенополистирол. Производится в виде сегментов.

Коэффициент теплопроводности, Вт/м\*К – 0,031.

Цена: от 4000 руб. кубометр.

Преимущества:

- Сохраняет заданный температурный режим,
- Ускоряет процесс монтажа,
- Срок эксплуатации превышает 100 лет.

Недостатки:

- Высокая цена.

Для получения максимально рентабельного теплоизоляционного слоя необходимо синтезировать эффективный многокомпонентный теплоизоляционный материал, способный обеспечивать необходимый тепловой режим в заданных условиях, благодаря комбинации разных свойств нескольких материалов. Проведя патентный поиск, за прототип нами был взят теплоизоляционный материал в виде сборной теплоизоляционной конструкции, охватывающей трубопровод цилиндрической оболочкой из расположенных последовательно по его длине и соединенных между собой секций, каждая из которых выполнена из состыкованных между собой по соответствующим сопрягаемым граням теплоизолирующих элементов, образующих полый цилиндр, выполнена сборно-разборной, включающей съемные скорлупы,

скрепленные бандажами, отличающаяся тем, что съемные скорлупы выполнены в виде сегментов из экструзионного пенополистирола [3]:

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННАЯ КОНСТРУКЦИЯ (№ 40433)

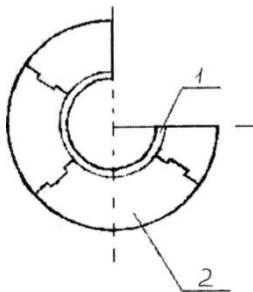
Классы МПК: F16L59/00

Автор(ы): Коптенармусов В.Б.

Патентообладатель(и): ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб»

Начало действия патента: 15.06.2004

Публикация патента: 10.09.2004



**Рисунок 2. Схема теплоизоляционной конструкции: 1 – труба, 2 – сегмент теплоизоляции экструзионного пенополистирола**

Преимуществами данной конструкции являются: 1) сохранение заданного теплового режима в геолого-климатических условиях крайнего севера, 2) срок эксплуатации более 100 лет.

После рассмотрения основных свойств, критериев и видов теплоизоляционных материалов с выделением их достоинств и недостатков, а также выбора прототипа теплоизоляционной конструкции, позволяющей скомбинировать эти материалы, мы можем сделать следующие выводы:

1. Основные требования теплоизоляционного материала:

- тепловая изоляция независимо от способа прокладки газопровода должна обеспечивать свою функцию, в течение эксплуатационного срока трубопровода.
- минимальный срок эксплуатации теплоизоляционного материала должен быть не менее 30 лет.

2. Основные недостатки материалов, регламентируемых нормативными документами:

- требует дополнительную пароизоляцию, гидроизоляцию, защитный слой

- в геолого-климатических условиях Крайнего Севера не могут сохранять заданный температурный режим
  - высокая цена
3. Взятый за прототип теплоизоляционный материал в виде сегментов из экструзионного пенополистирола требует дальнейшей доработки с учетом выбора материалов и условий использования.
4. В перспективе данную работу можно развивать по следующим направлениям:
- Разработка методики расчета теплового режима перекачки газа,
  - Определения оптимальной толщины теплоизоляции,
  - Разработка состава и способа синтеза теплоизоляционного материала,
  - Техническо-экономический расчет теплоизоляционного материала,
  - Изготовление модели теплоизоляционного материала.

### Список литературы:

1. Авторская платформа Pandia / Нефть / Магистратура /Магистральные нефтепроводы. Нормы проектирования, [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://pandia.ru/text/78/388/65813-11.php> (дата обращения 28.11.2015).
2. Официальный сайт компании «ППУ XXI ВЕК», [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.ppu21.ru/section/288.html?mc=288> (дата обращения: 28.11.2015).
3. Реестр промышленных образцов // теплоизоляционная конструкция (№ 40433), [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.freerf.ru/Models/40433> (дата обращения 28.11.2015).
4. Рекомендации по проектированию теплоизоляционных конструкций магистральных трубопроводов, Р 536-84, М. 1985.
5. "Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. СНИП 2.04.14-88" (утв. Постановлением Госстроя СССР ОТ 09.08.88 № 155), от 31.12.1997 г.



## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ КОРПУСА Р-1 ОАО «ВОЛТАЙР-ПРОМ»

*Сухина Ксения Николаевна*

*старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции,  
основания и надежность сооружений», Волгоградский  
государственный архитектурно-строительный университет,  
РФ, г. Волгоград*

*E-mail: [ya.elektronka2011@yandex.ru](mailto:ya.elektronka2011@yandex.ru)*

## PREDICTION OF RESIDUAL RESOURCE OF LOAD-BEARING STRUCTURES THE MAIN BODY OF THE R-1 JSC «VOLTAIR-PROM»

*Kseniya Suhina*

*senior Lecturer department "Building construction, grounds and reliability  
of structures", University of architecture and civil engineering,  
Russia, Volgograd*

### АННОТАЦИЯ

В статье был проведен анализ результатов экспериментальных исследований несущих конструкций покрытия основного корпуса Р-1 ОАО «Волтайр-Пром», на основании полученных данных была аппроксимирована функция снижения ресурса.

### ABSTRACT

The article was the analysis of the results of experimental research of load-bearing structures of main body cover R-1 JSC «Voltair-Prom», on the basis of the obtained data was approximated by a function of decreasing resource.

**Ключевые слова:** подстропильные фермы; стропильные фермы; остаточный ресурс; закон снижения; характеристика безопасности.

**Keywords:** farm; rafter farm; residual life; the law of decrease; safety feature.

Проблема оценки остаточного ресурса эксплуатируемых промышленных зданий и сооружений является одной из актуальных.

Это связано в первую очередь с массовой выработкой фактического ресурса и отсутствием достаточных инвестиций для проведения восстановительных работ. В связи с этим возникает целый ряд задач направленных на изыскание резервов эксплуатационной пригодности при обеспечении полной безопасности.

Задача прогнозирования ресурса носит вероятностный характер, основанный на большом количестве исходной информации и наблюдениях в процессе эксплуатации объекта.

Максимально точно оценить ресурс эксплуатируемых несущих конструкций зданий и сооружений можно на основании результатов регулярно проводимых натуральных обследований (не менее трех).

Для того, чтобы дать правильную и достоверную оценку надежности эксплуатируемого здания необходимо знать закон снижения остаточного ресурса.

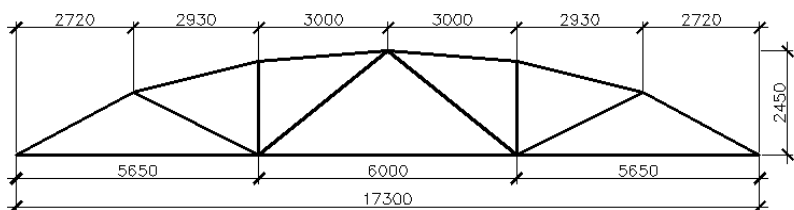
В большинстве случаев, при проведении технического освидетельствования зданий и сооружения функция снижения работоспособности остается не определенной или аппроксимируется по двум точкам (результаты текущего и ранее проведенного обследования), что дает значение с большой погрешностью. Для того, чтобы максимально точно дать прогноз о сроке службы эксплуатируемого здания необходимы результаты как минимум трех обследований. При этом первое обследование целесообразнее проводить на момент ввода здания в эксплуатацию.

Если руководствоваться правилами установленными нормами [1], то первое обследование должно проводиться через два года после ввода эксплуатацию. Таким образом, за начальный момент времени ( $T=0$ ) при построении функции снижения ресурса будет приниматься значение не фактического, а теоретического ресурса, что даст нам величину риска на один-два порядка выше.

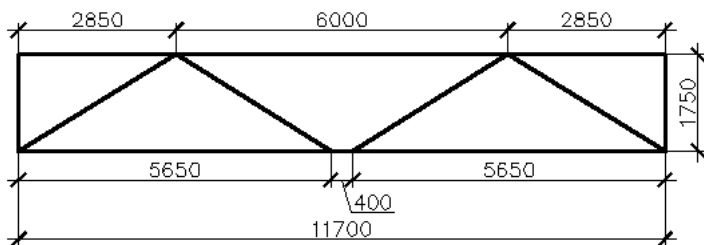
В качестве примера определения закона снижения функции работоспособности рассмотрим несущие железобетонные конструкции покрытия эксплуатируемого промышленного цеха Р-1 ОАО «Волтайр-Пром».

Конструктивно цех представляет собой каркасную систему, пролетом 18 м и шагом колонн 12 м. Были рассмотрены стропильные фермы предварительно напряженные, сегментные, пролетом 18 м, марки Ф1-18-4А, Ф1-18-5А и подстропильные фермы предварительно напряженные пролетом 12 м марки ПФН-1, выполненные по типовым проектам серии ПК-01-76 и ПК-01-17. Цех Р-1 был введен в эксплуатацию в 1964 году.

Геометрические схемы стропильной и подстропильной ферм представлены на рис. 1 и рис. 2 соответственно:



**Рисунок 1. Геометрическая схема стропильной фермы Ф1-18-4А**



**Рисунок 2. Геометрическая схема подстропильной фермы ПНФ-1**

Наблюдения за конструкциями проводились на протяжении 41 года. За это время было проведено четыре обследования [4].

Первое обследование по оценке несущей способности конструкций покрытия цеха проводилось на момент ввода здания в эксплуатацию, что послужило отправной точкой на момент времени  $T_I = 0$ . На основании полученных данных был произведен расчет на безопасность, в результате которого было выявлено значение коэффициента безопасности (индекс надежности) исследуемых конструкций [3]

$$\beta_i = \frac{m_{Ri} - m_{Fi}}{\sqrt{A_{Ri}^2 m_{Ri}^2 + A_{Fi}^2 m_{Fi}^2}} \quad (1)$$

на момент времени обследования.

Параметры в формуле (1):

$\tilde{R}, \tilde{F}$  – случайные величины резерва прочности, несущей способности и нагрузочного эффекта;

$m_R, m_F, A_R, A_F$  – математические ожидания и коэффициенты вариации случайных величин  $\tilde{R}$  и  $\tilde{F}$ .

Повторные обследования проводилось в 1989, 1997 и 2005 годах, где на основании экспертной оценки было выявлено снижение прочностных параметров конструкций. На основании полученных данных о техническом состоянии, подстропильные фермы цеха были разделены на три категории. К I-ой категории были отнесены фермы, чьи условия эксплуатации выполнялись согласно требованиям норм, а несущая способность соответствовала типовой серии и проекту и превышала эксплуатационные нагрузки. Данная категория характеризуется отсутствием внешних дефектов, влияющих на снижение несущей способности и эксплуатационной пригодности. II-ая категория характеризуется снижением расчетного сопротивления бетона на 5 % и снижением расчетного сопротивления растянутой арматуры на 6 %. Для III-ей категории снижение расчетных сопротивлений бетона и арматуры составляет 10 % и 12 % соответственно. Стропильные фермы в свою очередь были разбиты на 7 типов (в зависимости от типа нагружения). После чего каждый тип так же делился на три категории по эксплуатационному состоянию. На каждом этапе обследования определялась несущая способность рассматриваемых ферм и вычислялся индекс надежности.

Основными причинами, повлекшими за собой снижение несущей способности, является специфика технологического процесса рассматриваемого промышленного предприятия.

Так, исследуемые конструкции покрытия на протяжении всего эксплуатационного периода поддаются воздействию химически агрессивной среды, испытывают вибрацию, температурные перепады, нагрев до 100–150 °С, что сопровождается выделением в воздушную среду углеводородов, а также переменное увлажнение и высушивание. В результате этого основными повреждениями являются разрушение защитного слоя бетона поясов ферм, оголение, коррозия арматурных каркасов и как следствие, разрывы рабочей арматуры. Так же часто встречаемыми повреждениям эксплуатируемых железобетонных конструкций являются: значительные общие деформации, нарушающие условия нормальной эксплуатации; наличие трещин и значительное превышение фактических нагрузок над расчетными [2].

На основании полученных данных был построен эмпирический закон снижения характеристики безопасности от времени  $\beta(T)$  для стропильных и подстропильных ферм в отдельности (рис. 1 и рис. 2).

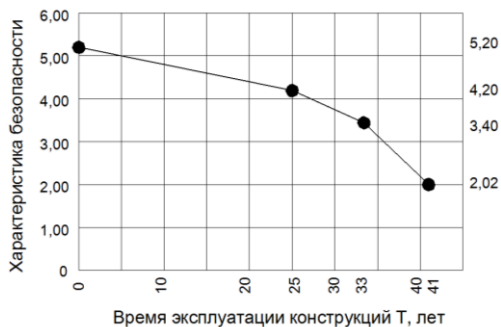
Этот закон был аппроксимирован кубической параболой:

- для подстропильных ферм

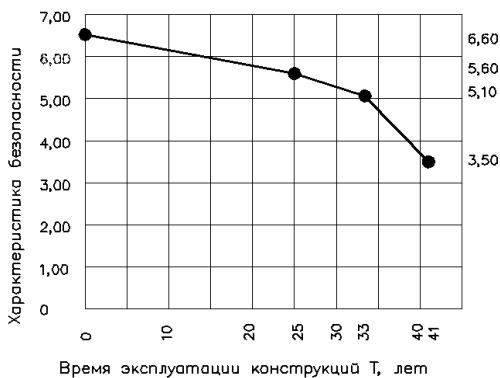
$$y(t) = -3.667 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 - 0.241x^2 + 2.167x + 854.57, \quad (2)$$

- для стропильных ферм

$$y(t) = -1.872 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 - 0.287x^2 + 2.669x + 961.83. \quad (3)$$



**Рисунок 3. График изменения характеристики безопасности  $\beta$  во времени  $T$  подстропильных ферм**



**Рисунок 4. График изменения характеристики безопасности  $\beta$  во времени  $T$  стропильных ферм**

Анализ выше приведенных графиков показывает, что к 41 году ресурс подстропильных ферм приближается к критической величине:  $\beta(T=41)=2,02$ . Таким образом, можно сделать выводы, что для получения наиболее достоверной оценке ресурса конструкций  $T_{res}(\beta, T)$  чрезвычайно знать результаты как можно большего количества обследований (минимум трех) и уровень надежности, реализованный при вводе здания в эксплуатацию  $\beta(T=0)$ .

### Список литературы:

1. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М., 2011.
2. Пшеничкин А.П., Пшеничкина В.А. Надежность зданий и оснований в особых условиях // Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2009. – С. 31–48.
3. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. – С. 61–64.
4. СНИП 20-01-2003. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М., 2004.

## АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ НОРМАТИВНЫХ И РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК НА ОСНОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ НОРМ

*Сухина Ксения Николаевна*

*старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции,  
основания и надежность сооружений», Волгоградский  
государственный архитектурно-строительный университет,  
РФ, г. Волгоград*

*E-mail: [ya.elektronka2011@yandex.ru](mailto:ya.elektronka2011@yandex.ru)*

## ANALYSIS OF THE SECURITY OF REGULATORY AND SETTLEMENT LOADS ON THE BASIS OF MODERN STANDARDS

*Kseniya Suhina*

*senior Lecturer department "Building construction, grounds and reliability  
of structures", University of architecture and civil engineering,  
Russia, Volgograd*

## АННОТАЦИЯ

В статье представлен алгоритм вычисления всех необходимых статистических характеристик снеговой нагрузки по их расчетным значениям, приведенным в нормативных документах, а также представлены результаты исследований фактической снеговой нагрузки и ее обеспеченности в г. Волжском Волгоградской области.

## ABSTRACT

The paper presents an algorithm for calculating the necessary statistical characteristics of the snow load on their calculated values given in the regulations, as well as the results of studies of actual snow loads and its security in the Volzhsky city of Volgograd region.

**Ключевые слова:** обеспеченность; статистический момент; индекс надежности; метеостанции; коэффициент вариации.

**Keywords:** security; statistical moment; reliability index; weather stations; the coefficient of variation.

Применение вероятностных методов для расчета зданий и сооружений на действие различных нагрузок является достаточно сложным процессом, т. к. требует наличия обширных статистических данных [1; 2; 4]. Вместе с тем, задачи такого рода могут быть решены на основании нормативных данных и исследованиях, регламентированных современными нормами.

Рассмотрим снеговые нагрузки. Для этого, на первом этапе, проведем анализ реализаций ежегодных максимумов снеговой нагрузки за последние 43 года, полученных метеостанциях, расположенных в разных снеговых районах (табл. 1).

*Таблица 1.*

### Статистические характеристики снеговых нагрузок

п/п	Метеостанция	Номер снегового района	Расч. Снег. Нагрузка, кг/м <sup>2</sup>	Норм. Снег. Нагрузка, кг/м <sup>2</sup>	Статистические характеристики годовых максимумов			Параметры закона Гумбеля	
					Ms, кг/м <sup>2</sup>	σs, кг/м <sup>2</sup>	fs, кг/м <sup>2</sup>	as	us
1	Калач	III	180	126	58.49	22.25	0.38	0.058	46.94
2	Кострома	IV	240	168	131.35	37.83	0.29	0.034	114.37
3	Павловский Посад	III	180	126	104.46	37.49	0.36	0.034	87.48
4	Арзамас	III	180	126	87.71	35.5	0.4	0.036	71.68
5	Анна	III	180	126	104.77	39.1	0.37	0.032	86.73

6	Ростов Великий	IV	240	168	97.02	30.88	0.32	0.042	83.28
7	Воркута	V	320	224	176.42	74.42	0.42	0.017	142.47
8	Борисоглебск	III	180	126	97.41	41.22	0.42	0.031	78.79
9	Камышин	III	180	126	72.2	25.9	0.35	0.049	60.43
10	Рудня	III	180	126	60.64	34.36	0.57	0.037	45.04
11	Гагарин	III	180	126	84.77	33.91	0.40	0.038	69.58
12	Клин	III	180	126	93.38	38.64	0.41	0.033	75.88
13	Можайск	III	180	126	81.98	30.43	0.37	0.042	68.24
14	Коломна	III	180	126	96.44	40.22	0.42	0.032	78.34

На основании полученных данных, представленных в таблице 1 найдем индекс надежности для расчетного значения снеговой нагрузки:

$$\beta = \frac{S_q - m_s}{\sigma_s}. \quad (1)$$

Выразив переменные в правой части формулы (1) через параметры закона Гумбеля получаем:

- расчетная нагрузка

$$S_q = u - \frac{1}{a} \ln\{-\ln(0.96)\} = u + \frac{3.199}{a}, \quad (2)$$

- математическое ожидание

$$m_s = u + \frac{0.577216}{a}, \quad (3)$$

- стандарт

$$\sigma = \frac{1.28255}{a}. \quad (4)$$



Откуда

$$\beta = \frac{\frac{u \cdot a + 3.199}{a} - \frac{u \cdot a + 0.577216}{a}}{\sigma = \frac{1.28255}{a}} = 2.044 \quad (5)$$

То есть, интервал  $[m_s, S_q]$  соответствует 2.044 стандартам:

$$\beta = \frac{S_q - m_s}{\sigma_s} = \frac{S_q - m_s}{m_s \cdot f_s} = 2.044, \quad (6)$$

Отсюда следует, что

$$S_q = m_s(1 + 2.044 f_s). \quad (7)$$

С учетом того, что коэффициент вариации ежегодных максимумов снеговой нагрузки для всех районов приблизительно одинаков  $f_s=0,4$ , выражение (7) можно записать в виде:

$$S_q = 1.818 m_s. \quad (8)$$

По известным расчетным значениям снеговой нагрузки, приведенным в [3], можно определить все требуемые статистические характеристики случайной величины ее годовых максимумов, а также параметры закона распределения Гумбеля для всех снеговых районов.

В качестве примера найдем вероятность превышения фактической снеговой нагрузкой расчетное значение в городе Волжском Волгоградской области, относящегося ко II-му снеговому району. По табл 10.1 [3] получаем, что расчетное значение  $S_q$  составляет 120 кг/м<sup>2</sup>.

Тогда используя формулу (8) получим, что

- математическое ожидание годовичных максимумов:

$$m_s = \frac{S_q}{1.818} = 66.00 \text{ кг/м}^2;$$

- коэффициент вариации:  $f_s = 0,4$ ;
- стандарт:  $\sigma_s = m_s \cdot f_s = 26,4 \text{ кг/м}^2$ ;

- параметры закона Гумбеля:  $a_s = 0,048$ ;  $u_s = 53,97$ .

Плотность распределения максимумов:

$$p(S) = a_s \exp \{ -a_s(S - u_s) - \exp[-a_s(S - u_s)] \} = 0,048 \exp \{ -0,048(S - 53,97) - \exp[-0,048(S - 53,97)] \} \quad (9)$$

Функция распределения максимумов:

$$F(S) = \exp \{ -\exp[-a_s(S - u_s)] \} = \exp \{ -\exp[-0,048(S - 53,97)] \}. \quad (10)$$

Т. к. среднее значение периода повторяемости снеговой нагрузки составляет 25 лет, соответствующее  $m_{T_s} = 25$ , найдем значение  $S_q$ .

Значение функции распределения:

$$F(S_q) = 1 - \frac{1}{m_{T_s}} = 1 - \frac{1}{25} = 0,96, \quad (11)$$

то есть обеспеченность снеговой нагрузки  $S_q$  составляет 0,96. Тогда из уравнения

$$F(S_q) = \exp \{ -\exp[-0,048(S_q - 53,97)] \} = 0,96 \quad (12)$$

выразим  $S_q$ :

$$S_q = u_s - \frac{1}{a_s} \ln \{ -\ln[F(S_q)] \} = 53,97 - \frac{1}{0,048} \ln[-\ln(0,96)] = 120,59 \text{ кг/м}^2 \quad (13)$$

Таким образом, вес снегового покрова на поверхности земли, превышаемый в среднем 1 раз в 25 лет, вычисленный г. Волжского, составляет  $S_q = 120,59 \text{ кг/м}^2$ . На основании карты снеговых районов находим, что Волжский относится ко II снеговому району, для которого, согласно табл.1,  $S_q = 120 \text{ кг/м}^2$ .

Зная фактические и расчетные значения снеговой нагрузки в рассматриваемом районе можно легко найти вероятность превышения значения наибольшей нагрузки за любой временной период.

Вероятность того, что фактическая нагрузка не превысит расчетную на протяжении 25 лет находится по формуле:

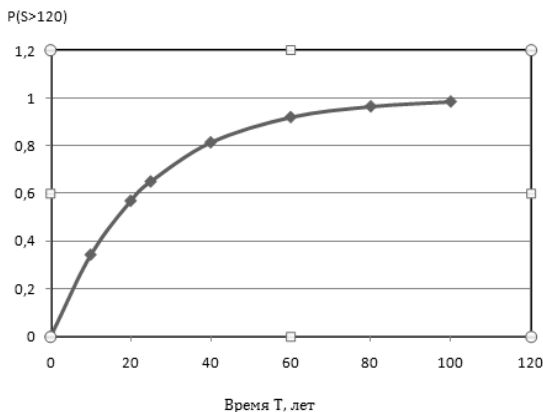
$$F_k(S) = [F(S)]^k = \exp\{-k \exp[-a_s(S - u_s)]\} = \quad (14)$$
$$= \exp\{-25 \exp[-0,048(120 - 53.97)]\}.$$

Тогда вероятность превышения будет равна:

$$P(S > 180) = 1 - F_k(120) = 1 - 0.35 = 0.65. \quad (15)$$

Т. е. вероятность того, что фактическая снеговая нагрузка превысит расчетную за период 25 лет составляет 65 %.

На рисунке 1 представлен график изменения вероятности превышения снеговой нагрузкой заданный уровень 120 кг/м<sup>2</sup> во времени.



**Рисунок 1. График превышения снеговой нагрузкой заданный уровень 120 кг/м<sup>2</sup> во времени**

### Список литературы:

1. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений. Научное издание. – М.: Издательство АСВ, 2010. – С. 384.
2. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – С. 285.
3. Свод правил: СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» [Текст]: нормативно-технический материал. М.: Минрегион России, 2011. – С. 98.
4. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1994. – С. 288 – перевод изд.: Gerhard Spaethe. – Die Sicherheit tragende Bankonstruktionen. – ISBN.5-274-01208-6.

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**Битюцкая Наталья Ивановна**

канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент  
Северо-Кавказского Федерального университета,  
РФ, г. Пятигорск  
E-mail: [bityutskayanata@yandex.ru](mailto:bityutskayanata@yandex.ru)

**Шевченко Дмитрий Александрович**

студент Северо-Кавказского Федерального университета,  
РФ, г. Пятигорск  
E-mail: [dimshev555@yandex.ru](mailto:dimshev555@yandex.ru)

## INFORMATION SUPPORT OF INNOVATIONS ACTIVITIES

**Natalia Bityutskaya**

*candidate of physics and mathematics, associate professor, assistant  
professor of the North-Caucasus Federal University,  
Russia, Pyatigorsk*

**Dmitriy Shevchenko**

*student of the North-Caucasus Federal University,  
Russia, Pyatigorsk*

### АННОТАЦИЯ

Целью данного исследования является анализ инновационной деятельности, выявление методов создания новых информационных ресурсов. Результатом исследования является концепция новой системы, способной поднять уровень и качество инновационной деятельности.

### ABSTRACT

The aim of this study is to analyze the innovation, the identification of methods to create new information resources. The result of the study is the concept of a new system that can raise the level and quality of innovation.

**Ключевые слова:** инновации; информационные ресурсы; научная деятельность.

**Keywords:** innovation; informational resources; scientific activity.

На сегодняшний день существует множество интернет источников, так или иначе затрагивающих тему информационного обеспечения в инновационной деятельности. Но большинство сходится примерно в одном мнении, что информационное обеспечение инновационной деятельности очень важно.

Прежде чем углубиться в этот аспект, стоит определиться с определением «инновации». Инновации – это внедренное новшество, являющееся результатом интеллектуальной деятельности человека, его творческой деятельности, открытий, изобретений, направленное на рост эффективности процессов или продукции. Или же что-то совершенно новое, что делает жизнь лучше.

Так, например, это может быть совершенно новое изобретение (как кондиционер Уиллса Карриера), видоизменением или улучшением идеи (игровые консоли PlayStation от Sony) или выходом продукта на другой рынок (переход сотовой связи на подключение к интернету).

Исходя из этих понятий, становится ясно, что инновационным деятелям необходимо обеспечение актуальной и своевременной информацией для принятия важных решений и обеспечения правовой корректировки деятельности.

Проблемой данной области является недостаток необходимой информации для успешного начала инновационной деятельности.

Целью данного исследования является анализ инновационной деятельности, мониторинг существующих информационных ресурсов Рунета, а так же оценка полученной информации, и её полнота, для решения тех или иных задач инновационной деятельности.

Поставленной задачей является выявление наиболее значимых факторов и вопросов, с которыми приходится сталкиваться молодым ученым, изобретателям и начинающим предпринимателям в научно-технической сфере, выделение атрибутов новой методологии решения данного вопроса.

Объектом исследования является инновационная деятельность.

Предметом исследования является выявление факторов, влияющих на успешное развитие области инноваций.

Исходя из понятий, связанных с инновационной деятельностью, становится ясно, что разработчикам инноваций необходимо получение актуальной и своевременной информации для принятия важных решений и обеспечения правовой корректировки деятельности.

Так процесс инновационного цикла (рис. 1) делится на следующие этапы:

- возникновение идеи;

- фундаментальные исследования;
- прикладные исследования;
- разработка промышленных образцов;
- коммерциализация продукта;
- серийное производство и реализация инновационной продукции.



**Рисунок 1. Инновационный цикл**

Каждый из вышеперечисленных этапов требует определенного набора информации: научно-технической (содержащей документы и отчетности других процессов поисков в данной предметной или смежных предметных областях), патентной, коммерческой, маркетинговой, статистической и демографической, правовой, информации о конкурентах, информации о потенциальных потребителях [6].

Инновационная деятельность может быть направлена не только на теоретические или лабораторные изыскания, но и на разработку конечного инновационного продукта, несущего коммерческую ценность с определенным потенциалом для привлечения прибыли [1].

Исследования существующих информационных ресурсов показывают, что они преимущественно направлены на поддержку научной и образовательной цели. Как правило, они могут нести важную и нужную информацию, но сейчас они не структурированы, информация не актуальна и не отражает в комплексном виде информацию о государственной инновационной политике

и её методах поддержки инновационной деятельности, о положении программ в других субъектах и регионах в различных областях.

Исходя из существующих данных, можно сделать вывод, что большинство информационных ресурсов, посвященных инновационной деятельности, обладает следующими недостатками:

- ресурсы не систематизированы, не имеют единой навигационной системы;
- отсутствие точного состава отраслевой информации;
- недостаток полного спектра периодических зарубежных изданий;
- отсутствие базы данных о проектах и партнерах.

Исследования информационных ресурсов показывают, что они преимущественно направлены на поддержку научной и образовательной цели.

Для выявления подобных недостатков был проведен мониторинг и поверхностное исследование существующих интернет ресурсов Рунета.

На скриншоте поисковой панели РоссИнноваций (рис. 2) можно наглядно увидеть поиск интересующего раздела [4], с поиском соответствующей интересующей потенциального инновационного деятеля информации, но результат, как правило, отрицательный (рис. 3).

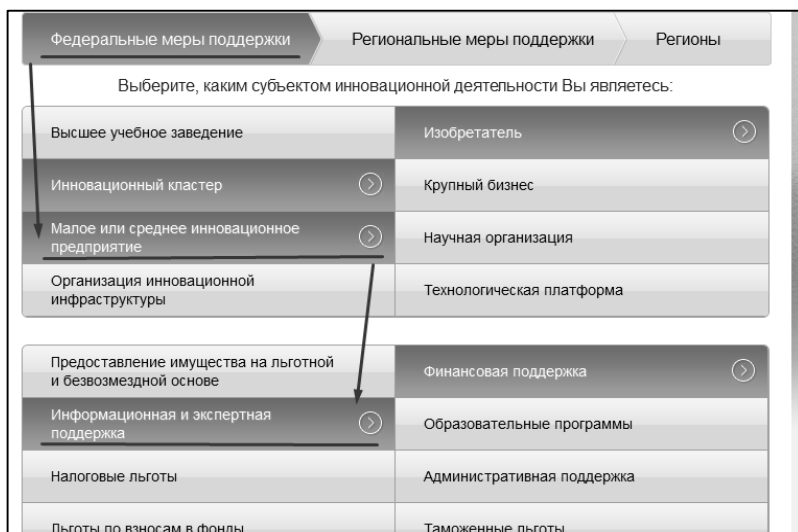
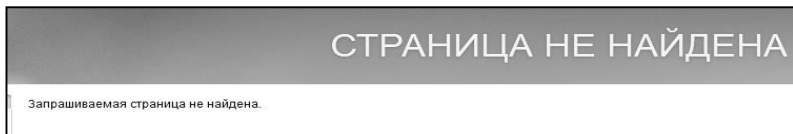


Рисунок 2. Выбор раздела



***Рисунок 3. Не найденная страница интернет ресурса***

Так же был проведен поиск информации о поддержке инноваций в отдельных регионах, но, как правило, результат поиска был отрицательным или выдающим обобщенные устаревшие данные [2; 3; 5].

Учитывая существующие недостатки информационных ресурсов, можно определить новые подходы к созданию методологии, отвечающей на определенные важные вопросы, с которыми постоянно приходится сталкиваться при инновационной деятельности.

Новая информационная система должна отвечать на вопросы:

1. как и где найти инновационную идею;
2. как правильно выбрать направление исследований;
3. как разработать инновационную стратегию бизнеса;
4. как оформить инновационный проект;
5. как разработать бизнес-план, презентацию;
6. где и под какие задачи можно найти источники инвестирования;
7. как и где оформить права на интеллектуальную собственность.

При полном раскрытии всей информационной базы можно ожидать интенсивный поток создания различных стартапов и научных проектов, а так же увеличения процента идей, доведенных до финального качества и готовых к выпуску в промышленность различных образцов.

Стоит отметить, что в инновациях в области ИТ-технологий заинтересованы крупные корпорации, например, Microsoft, предлагающие проектам помимо информационной базы, поддержки финансовой, организационной и презентационной огромный пакет программных продуктов (рис. 4) для разработки программных средств и систем.





Рисунок 4. Microsoft BizSpark

Можно сказать, что в России в информационной поддержке инновационной деятельности имеются большие пробелы, как в организации ресурсов, так и в их полноте. Учитывая эти недостатки и явно выделяющиеся проблемные области, можно не только подчеркнуть опыт зарубежных информационных ресурсов в поддержке инноваций, но и привнести новаторские решения в развитие этой области.

Таким образом, несмотря на парадоксальное выражение, можно сказать, что создание информационного ресурса для поддержания инновационных проектов уже само по себе является инновационной разработкой на территории Российской Федерации.

В заключение стоит отметить, что, несмотря на большие пробелы в информационном обеспечении многие частные компании начинают проявлять все больший интерес к созданию своих сервисов и программ поддержки новаторской деятельности, что говорит о развитии этой области и заинтересованности компаний и корпораций в инновационных решениях.

### Список литературы:

1. Арский Ю.М., Цветкова В.А., Яшукова С.П. Информационные ресурсы для поддержки инноваций // Информационные Ресурсы России – 2007. – № 6 – С. 8–15.

2. Журнал об инновационной деятельности «Иновации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <http://www.maginnov.ru/> (дата обращения: 04.10.2015).
3. Иновации в предпринимательстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <http://www.innovbusiness.ru/> (дата обращения: 20.09.2015).
4. Иновации в России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <http://innovation.gov.ru/> (дата обращения: 17.10.2015).
5. Методолог – изобретательские задачи и методы их решения, [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: <http://www.metodolog.ru/> (дата обращения: 08.09.2015).
6. Сюнтюренко О.В. Направления перспективного развития информационной деятельности ВИНТИ, 2015, 7–10 с.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

**Научное издание**

## **«ИННОВАЦИИ В НАУКЕ»**

Сборник статей по материалам  
LI международной научно-практической конференции

№ 11 (48)

Ноябрь 2015 г.

Часть I

В авторской редакции

Подписано в печать 08.12.15. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 12,75. Тираж 550 экз.

Издательство АНС «СибАК»  
630049, г. Новосибирск, Красный проспект, 165, офис 4.  
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3