

**Международная Научно-Исследовательская Федерация  
«Общественная наука»**

# **ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ**

**Сборник научных трудов**

**по материалам  
XXIII международной научной конференции**

**28 февраля 2017 г.**

**ЧАСТЬ 1**

**LJOURNAL.RU**

**Самара 2017**

УДК 001.1  
ББК 60

Т34

**Тенденции развития науки и образования.** Сборник научных трудов, по материалам XXIII международной научно-практической конференции 28 февраля 2017 г. Часть 1 Изд. НИЦ «Л-Журнал», 2017. - 48с.

**SPLN 001-000001-0105-II**  
**DOI 10.18411/lj-28-02-2017-1**  
**IDSP 000001:lj-28-02-2017-1**

В сборнике научных трудов собраны материалы из различных областей научных знаний. В данном издании приведены все материалы, которые были присланы на XXIII международную научно-практическую конференцию **Тенденции развития науки и образования**

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

Все материалы, размещенные в сборнике, опубликованы в авторском варианте. Редакция не вносила коррективы в научные статьи. Ответственность за информацию, размещенную в материалах на всеобщее обозрение, несут их авторы.

Информация об опубликованных статьях будет передана в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Электронная версия сборника доступна на сайте научно-издательского центра «Л-Журнал». Сайт центра: [ljournal.ru](http://ljournal.ru)

УДК 001.1  
ББК 60

**SPLN 001-000001-0105-II**

**<http://ljournal.ru>**

## Содержание

<b>РАЗДЕЛ I. МАТЕМАТИКА</b> .....	4
<b>Бадриев И.Б., Макаров М.В., Смирнова Е.В.</b> Обобщенная постановка геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины.....	4
<b>РАЗДЕЛ II. ХИМИЯ</b> .....	11
<b>Горшенев В.Н., Яковлева М.А., Телешев А.Т.</b> Способы очистки синтезированных кальций-фосфатных суспензий от нитрата аммония.....	11
<b>РАЗДЕЛ III. ФИЗИКА</b> .....	20
<b>Герасименко Е.Ю., Переходов М.В., Кобец В.А.</b> Исследование динамики трибоэлектрохимического процесса на плоскости .....	20
<b>РАЗДЕЛ IV. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ</b> .....	22
<b>Alhousni A.H., Konovalov I.E.</b> Identify the most effective and important Factors which limiting of the development of the performance of sprinters.....	22
<b>Багайсков Ю.С.</b> Анализ особенностей структуры высокопористых абразивных инструментов на керамической связке .....	23
<b>Кучеров А.С., Борзов Д.Б.</b> Планирование размещения программ в динамических мультипроцессорных системах.....	27
<b>Ле Дык Тиеп, Нгуен Ван Чонг</b> Улучшенный алгоритм векторной ШИМ для регулирования частоты вращения вала асинхронного двигателя .....	28
<b>Литвиненкова З.Н., Осипук Е.А.</b> Влияние на прочность местной потери устойчивости в зоне трещины-разреза в тонкой растянутой пластине.....	34
<b>Маслов Л.Н., Маслов М.Л., Сунцов Е.В.</b> Технология высокотемпературной упрочняюще-калибрующей термомеханической обработки – резерв снижения трудоемкости изготовления изделий отечественного машиностроения.....	39
<b>Ткач В.В.</b> Интенсификация адсорбционных свойств противоизносных присадок за счет внешнего силового поля .....	44
<b>РАЗДЕЛ V. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b> .....	46
<b>Беспалов Е.С., Болтов М.С., Кривошей В.П.</b> Программно-информационные системы кафедры .....	46

## РАЗДЕЛ I. МАТЕМАТИКА

**Бадриев И.Б., Макаров М.В., Смирнова Е.В.**  
**Обобщенная постановка геометрически нелинейной задачи  
об изгибе трехслойной пластины**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет  
(Россия, Казань)*

doi: 10.18411/lj-28-02-2017-1-01

idsp: 000001:lj-28-02-2017-1-01

### **Введение.**

Трехслойные конструкции широко применяют в аэрокосмической технике, судостроении, транспортном машиностроении, а также в строительстве, когда требуются повышенная жесткость и минимальная масса. Высокая удельная изгибная жесткость в трехслойных конструкциях достигается простым приемом разнесения на некоторое расстояние (за счет промежуточного легкого слоя заполнителя) двух жестких несущих слоев. В качестве заполнителя часто используют различные пенопласты, соты из металлической фольги или полимерной бумаги, гофры, ячейки и др. Для несущих слоев применяют различные металлические сплавы, а также композиционные материалы с высокими удельными жесткостными характеристиками. Для обеспечения совместного деформирования несущие слои скрепляются со слоем заполнителя, например, с помощью высокопрочных клеев [1–5]. Данная работа является продолжением [6, 7] и посвящена построению обобщенной формулировке геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем в виде операторного уравнения в пространстве Соболева. С этой целью на основании теорем вложения Соболева установлено, что интегральные тождества, построенные в [7], порождают определенный на соболевском пространстве оператор. Обобщенные постановки для физически нелинейных и геометрически линейных задач рассмотрены в [8–12]. Физически нелинейные задачи теории мягких сетчатых оболочек изучены в [13–21]. Численное решение геометрически нелинейных задач проводилось в [22–28].

### **1. Постановка задачи.**

Рассматриваются задачи об определении напряженно-деформированного состояния бесконечно длинной трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем. Ширина пластины равна  $a$ , толщина заполнителя составляет  $2h$ , толщины несущих слоев равны  $2h^{(k)}$ , где  $k$  – номер слоя. Исследование процессов деформирования таких элементов, прежде всего, диктуется необходимостью определения степени их пригодности для дальнейшего использования. Для описания напряженно-деформированного состояния в несущих слоях используются уравнения модели Кирхгофа-Лява, в заполнителе – уравнения теории упругости, упрощенные в рамках принятой модели трансверсально-мягкого слоя и проинтегрированных по толщине с удовлетворением условий сопряжения слоев по перемещениям [29, 30]. В соответствии с [29, 30] введем следующие обозначения:

$H^{(k)} = h + h^{(k)}$  (здесь и всюду в дальнейшем

полагаем, что  $k=1, 2$ ),  $X_{(k)}^1, X_{(k)}^3$  – компоненты поверхностной нагрузки, приведенной к срединной поверхности  $k$ -го слоя,  $w^{(k)}$  и  $u^{(k)}$  – прогибы и осевые перемещения точек

срединной поверхности  $k$ -го слоя соответственно,  $T_{(k)}^{11}, M_{(k)}^{11}$  – мембранные усилия и внутренние изгибающие моменты в  $k$ -м слое соответственно. Края пластины

предполагаем закрепленными, так что выполняются условия  $u^{(k)}(x) = 0, w^{(k)}(x) = 0, dw^{(k)}/dx = 0$  при  $x = 0, x = a$ . Рассматриваем геометрически нелинейный случай:

$$M_{(k)}^{11} = D_{(k)} d^2 u^{(k)} / dx^2 \quad T_{(k)}^{11} = B_{(k)} (d u^{(k)} / dx + 0.5 (d w^{(k)} / dx)^2), \quad \text{где}$$

$$B_{(k)} = 2h_{(k)} E^{(k)} / (1 - \nu_{12}^{(k)})(1 - \nu_{21}^{(k)}) - \text{ жесткость } k\text{-го слоя на растяжение–сжатие,}$$

$$E^{(k)} \text{ и } \nu_{12}^{(k)}, \nu_{21}^{(k)} - \text{ модуль упругости первого рода и коэффициенты Пуассона}$$

$$\text{материала } k\text{-го несущего слоя, } D_{(k)} = B_{(k)} h_{(k)}^2 / 3 - \text{ изгибная жесткость } k\text{-го слоя.}$$

Пусть  $U = (w^{(1)}, w^{(2)}, u^{(1)}, u^{(2)})$  – вектор перемещений точек срединной поверхности

$k$ -го слоя,  $q^1$  – касательные напряжения в заполнителе. Для  $q^1$  предполагаем

выполненными граничные условия  $q^1(0) = q^1(a) = 0$ . В [29, 30] для описания

напряженно-деформированного состояния трехслойной пластины был построен

$$\text{функционал потенциальной энергии деформаций: } L(U, q^1) = P(U, q^1) - A(U, q^1) - A_q(U, q^1),$$

$$P(U, q^1) = \frac{1}{2} \int_0^a \left\{ \sum_{k=1}^2 [B_{(k)} (d u^{(k)} / dx + \frac{1}{2} (d w^{(k)} / dx)^2]^2 + D_{(k)} (d^2 w^{(k)} / dx^2)^2 + c_1 (q^1)^2 + \right.$$

$$\left. + c_2 (d q^1 / dx)^2 + c_3 (w^{(2)} - w^{(1)})^2 \right\} dx \quad \text{есть потенциальная энергия деформации, } G_{13},$$

$$E_3 - \text{ модули поперечного сдвига и обжатия заполнителя, } c_1 = 2h / G_{13}, c_2 = h^3 / 3 E_3,$$

$$c_3 = E_3 / (2h), \quad A(U, q^1) = \int_0^a \sum_{k=1}^2 [X_{(k)}^1 u^{(k)} + M_{(k)}^1 d w^{(k)} / dx + X_{(k)}^3 w^{(k)}] dx$$

$$\text{есть}$$

работа заданных внешних сил и моментов,  $M_{(k)}^1$  – поверхностный момент внешних сил,

приведенный к срединной поверхности  $k$ -го слоя,

$$A_q(U, q^1) = \int_0^a [(u^{(1)} - u^{(2)}) - \sum_{k=1}^2 H_{(k)} d w^{(k)} / dx + c_1 q^1 - c_2 d^2 q^1 / dx^2] q^1 dx - \text{ работа}$$

неизвестных контактных касательных напряжений на соответствующих перемещениях.

При этом установлено [30], что решением задачи о равновесии трехслойной пластины

являются стационарные точки функционала  $L$ . Предполагаем, что все постоянные  $c_1, c_2, c_3, G_{13}, E_3, h, B_{(k)}, D_{(k)}, E^{(k)}, \nu_{12}^{(k)}, \nu_{21}^{(k)}, h_{(k)}, k = 1, 2$ , положительны.

## 2. Обобщенная постановка задачи в виде операторного уравнения.

Пусть  $V_k = W_2^{(k)}(0, a)$  – пространства Соболева [31] со скалярными

$$\text{произведениями } (u, \eta)_k = \int_0^a d^k u / dx^k d^k \eta / dx^k dx, \quad k = 1, 2, \quad V = V_2 \times V_2 \times V_1 \times V_1.$$

Будем обозначать скалярное произведение в  $V$  через  $(\cdot, \cdot)_V$ . В [7] были получены

уравнения для стационарных точек функционала  $L$  путем вычисления производных Гато

[32] этого функционала. Было установлено, что стационарные точки  $(U, q^1)$  являются

$$\text{решением вариационного уравнения } b((U, q^1), (Z, y)) = f(Z) \quad \forall (Z, y) \in W = V \times V_1, \quad (1)$$

где форма  $b(\cdot, \cdot)$ , заданная на  $W \times W$ , и функционал  $f$ , заданный на  $V$ , определяются по формулам

$$\begin{aligned} b((U, q^1), (Z, y)) = & \int_0^a \sum_{k=1}^2 B_{(k)} \left[ \frac{du^{(k)}}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{dw^{(k)}}{dx} \right)^2 \right] \frac{d\eta^{(k)}}{dx} dx + \\ & + \int_0^a \sum_{k=1}^2 B_{(k)} \left[ \frac{du^{(k)}}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{dw^{(k)}}{dx} \right)^2 \right] \frac{dw^{(k)}}{dx} \frac{dz^{(k)}}{dx} dx + \int_0^a \sum_{k=1}^2 D_{(k)} \frac{d^2 w^{(k)}}{dx^2} \frac{d^2 z^{(k)}}{dx^2} dx + \\ & + c_3 \int_0^a (w^{(2)} - w^{(1)})(z^{(2)} - z^{(1)}) dx + \int_0^a \left\{ \sum_{k=1}^2 H_{(k)} \frac{dz^{(k)}}{dx} + (\eta^{(2)} - \eta^{(1)}) \right\} q^1 dx + (2) \\ & + \int_0^a \left\{ \left[ \sum_{k=1}^2 H_{(k)} \frac{dw^{(k)}}{dx} + (u^{(2)} - u^{(1)}) + c_1 q^1 \right] y + c_2 dq^1/dx dy/dx \right\} dx = 0 \end{aligned}$$

$$\forall Z = (z^{(1)}, z^{(2)}, \eta^{(1)}, \eta^{(2)}) \in V, \quad \forall y \in V_1,$$

$$f(Z) = \int_0^a \sum_{k=1}^2 \left[ X_{(k)}^1 \eta^{(k)} + M_{(k)}^1 \frac{dz^{(k)}}{dx} + X_{(k)}^3 z^{(k)} \right] dx \quad \forall Z \in V. \quad (3)$$

Легко проверить, что форма  $b(\cdot, \cdot)$ , линейна по второму аргументу. Кроме того, она ограничена по второму аргументу. Действительно,

$$\left| \int_0^a \frac{du^{(k)}}{dx} \frac{d\eta^{(k)}}{dx} dx \right| \leq \|u^{(k)}\|_{1,2} \|\eta^{(k)}\|_{1,2}, \quad \left| \int_0^a \frac{dq^1}{dx} \frac{dy}{dx} dx \right| \leq \|q^1\|_{1,2} \|y\|_{1,2}. \quad (4)$$

Далее, имеет место следующая теорема [31, стр. 68].

Теорема 1. Пусть  $\Omega \subset R^n$  – ограниченная область с регулярной границей  $\Gamma$  и  $1 \leq p < \infty$ . Тогда  $W_p^{(k)}(\Omega) \subset W_r^{(j)}(\Omega)$  для  $0 \leq j < k$  и каждого  $r$ , удовлетворяющего условию  $1/p - (k - j)/n \leq 1/r < 1$ ; кроме того, для любой функции  $u \in W_p^{(k)}(\Omega)$  справедливо неравенство

$$\|u\|_{j,r} \leq C_{jr}^{kp} \|u\|_{k,p}, \quad (5)$$

где  $\|\cdot\|_{k,p}$  – норма в  $W_p^{(k)}(\Omega)$ , а постоянная  $C_{jr}^{kp}$  зависит от  $\Omega, j, k, p, r$ .

Из (6) вытекает следующее неравенство

$$\|w^{(k)}\|_{1,4} \leq C_{14}^{22} \|w^{(k)}\|_{2,2}, \quad (6)$$

из которого следует, что

$$\left| \int_0^a \left( \frac{dw^{(k)}}{dx} \right)^2 \frac{d\eta^{(k)}}{dx} dx \right| \leq \|\eta^{(k)}\|_{1,2} \|w^{(k)}\|_{1,4}^2 \leq (C_{14}^{22})^2 \|\eta^{(k)}\|_{1,2} \|w^{(k)}\|_{2,2}^2. \quad (7)$$

Применяя обобщенное неравенства Гельдера с показателями 2, 4, 4 (см., например, [33]), а затем – неравенство (6), получаем

$$\left| \int_0^a \frac{du^{(k)}}{dx} \frac{dw^{(k)}}{dx} \frac{dz^{(k)}}{dx} dx \right| \leq \|u^{(k)}\|_{1,2} \|w^{(k)}\|_{1,4} \|z^{(k)}\|_{1,4} \leq (C_{14}^{22})^2 \|u^{(k)}\|_{1,2} \|w^{(k)}\|_{2,2} \|z^{(k)}\|_{2,2}. \quad (8)$$

Из неравенств (6) и Гельдера с показателями 4 и 4/3 вытекает, что

$$\left| \int_0^a \frac{dz^{(k)}}{dx} \left( \frac{dw^{(k)}}{dx} \right)^3 dx \right| \leq \|w^{(k)}\|_{1,4}^3 \|z^{(k)}\|_{1,4} \leq (C_{14}^{22})^4 \|w^{(k)}\|_{2,2}^3 \|z^{(k)}\|_{2,2}. \quad (9)$$

Далее,

$$\left| \int_0^a \frac{d^2 w^{(k)}}{dx^2} \frac{d^2 z^{(k)}}{dx^2} dx \right| \leq \|w^{(k)}\|_{2,2} \|z^{(k)}\|_{2,2}. \quad (11)$$

Наконец, из теоремы 1 имеем

$$\left| \int_0^a w^{(k)} z^{(m)} dx \right| \leq \|w^{(k)}\|_{0,2} \|z^{(m)}\|_{0,2} \leq (C_{02}^{22})^2 \|w^{(k)}\|_{2,2} \|z^{(m)}\|_{2,2}, \quad k, m = 1, 2, \quad (12)$$

$$\left| \int_0^a q^1 \frac{dz^{(k)}}{dx} dx \right| \leq \|q^1\|_{0,2} \|z^{(k)}\|_{1,2} \leq C_{02}^{12} C_{12}^{22} \|q^1\|_{1,2} \|z^{(k)}\|_{2,2}, \quad (13)$$

$$\left| \int_0^a q^1 \eta^{(k)} dx \right| \leq \|q^1\|_{0,2} \|\eta^{(k)}\|_{0,2} \leq (C_{02}^{12})^2 \|q^1\|_{1,2} \|\eta^{(k)}\|_{1,2}, \quad (14)$$

$$\left| \int_0^a \frac{dw^{(k)}}{dx} y dx \right| \leq \|w^{(k)}\|_{1,2} \|y\|_{0,2} \leq C_{12}^{22} C_{02}^{12} \|w^{(k)}\|_{2,2} \|y\|_{1,2}, \quad (15)$$

$$\left| \int_0^a u^{(k)} y dx \right| \leq \|u^{(k)}\|_{0,2} \|y\|_{0,2} \leq (C_{02}^{12})^2 \|u^{(k)}\|_{1,2} \|y\|_{1,2}, \quad (16)$$

$$\left| \int_0^a q^1 y dx \right| \leq \|q^1\|_{0,2} \|y\|_{0,2} \leq (C_{02}^{12})^2 \|q^1\|_{1,2} \|y\|_{1,2}. \quad (17)$$

Из неравенств (4), (7)–(17) и соотношения (2) следует, что справедлива оценка  $|b((U, q^1), (Z, y))| \leq C(U, q^1) \|(Z, y)\|_{V \times V_1}$ , где  $C(U, q^1)$  – постоянная, зависящая от  $U, q^1$  и исходных данных задачи. Поэтому в силу теоремы Рисса-Фишера форма  $b(\cdot, \cdot)$  порождает оператор  $A: W \rightarrow W$ , задаваемый формулой

$$b((U, q^1), (Z, y)) = (A(U, q^1), (Z, y))_W \quad \forall (Z, y) \in W, \quad (18)$$

где  $(\cdot, \cdot)_W$  – скалярное произведение в  $W$ . Более того, справедлива

Теорема 2. Оператор  $A: W \rightarrow W$ , задаваемый формулой (18), является ограниченным.

Далее, из теоремы 1 вытекает, что справедливы оценки,

$$\left| \int_0^a X_{(k)}^1 \eta^{(k)} dx \right| \leq C_{02}^{12} \|X_{(k)}^1\|_{0,2} \|\eta^{(k)}\|_{1,2}, \left| \int_0^a X_{(k)}^3 z^{(k)} dx \right| \leq C_{02}^{22} \|X_{(k)}^3\|_{0,2} \|z^{(k)}\|_{2,2}, \quad (19)$$

$$\left| \int_0^a M_{(k)}^1 dz^{(k)} / dx dx \right| \leq \|M_{(k)}^1\|_{0,2} \|z^{(k)}\|_{1,2} \leq C_{12}^{22} \|M_{(k)}^1\|_{0,2} \|z^{(k)}\|_{2,2}. \quad (20)$$

Поэтому функционал  $f$ , задаваемый формулой (3) порождает элемент  $F \in V$  по формуле  $(F, Z)_V = f(Z)$ ,  $Z \in V$ . Таким образом, задача (1) может быть записана в виде операторного уравнения  $A(U, q^1) = F$ .

Замечание 1. Как следует из формул (19), (20), элемент корректно определен, если  $X_{(k)}^1$ ,  $X_{(k)}^3$ ,  $M_{(k)}^1$  принадлежат  $L_2(0,1)$ . Однако, можно задать оператор  $A: W \rightarrow W^* = V_2^* \times V_2^* \times V_1^* \times V_1^* \times V_1^*$ ,  $V_k^* = W_2^{(-k)}(0,1)$ , и элемент  $F$  из  $W^*$ . Таким образом, в рассматриваемом одномерном случае допускаются точечные нагрузки, моделируемые дельта-функциями Дирака [34–39].

### 3. Заключение.

Проведено построение обобщенной постановки геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким наполнителем. В дальнейшем будет исследована ее разрешимость полученного операторного уравнения, разработаны и исследованы приближенные методы его решения. При этом будут использованы разработанные в [40–49] подходы.

*Публикация осуществлена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 15-41-02569, 15-01-05686, 16-38-00788).*

### Список используемых источников информации

1. Старовойтов Э.И. Вязкоупругопластические слоистые пластины и оболочки. – Гомель: Белорусский государственный университет, 2002. – 343 с.
2. Макаров М.В., Бадриев И.Б., Паймушин В.Н. Нелинейные задачи о смешанных формах потери устойчивости трехслойных пластин при продольно-поперечном изгибе // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2015. – Т. 20, № 5. – С. 1275–1278.
3. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Паймушин В.Н. Контактная постановка задач механики подкрепленных на контуре трехслойных оболочек с трансверсально-мягким наполнителем // Известия высших учебных заведений. Математика. – 2017. – № 1. – С. 77–85.
4. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Макаров М.В., Паймушин В.Н. Решение нелинейных задач теории многослойных оболочек с трансверсально-мягким наполнителем // В сборнике: Сеточные методы для краевых задач и приложения Материалы Десятой Международной конференции, 2014. – С. 103–107.
5. Paimushin V.N. Problems of geometric non-linearity and stability in the mechanics of thin shells and rectilinear columns // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 2007. – V. 71, № 5. – P. 772–805.
6. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Мартынова О.П. Постановка геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким наполнителем // Тенденции науки и образования в современном мире. – 2016. – № 16-1. – С. 5–11.
7. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Мартынова О.П. Операторная формулировка геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким наполнителем // Тенденции науки и образования в современном мире. – 2016. – № 18-3. – С. 5–13.
8. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Макаров М.В. Численное исследование физически нелинейных задач об изгибе трехслойных пластин // В сборнике: Материалы XI Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ'2016) Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2016. – С. 475–477.
9. Бадриев И.Б., Гарипова Г.З., Макаров М.В., Паймушин В.Н., Хабибуллин Р.Ф. О решении физически нелинейных задач о равновесии трехслойных пластин с трансверсально-мягким наполнителем // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2015. – Т. 157, № 1. – С. 15–24.
10. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Гарипова Г.З., Макаров М.В. О разрешимости нелинейной задачи о равновесии трехслойной пластины // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2015. – Т. 20, № 5. – С. 1034–1037.

11. Бадриев И.Б., Гарипова Г.З., Макаров М.В. Сеточные аппроксимации физически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким наполнителем // В сборнике: Воронежская зимняя математическая школа С.Г. Крейна - 2016. Материалы международной конференции. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2016. – С. 70–72.
12. Badriev I.B., Garipova G.Z., Makarov M.V., Paimushin V.N., Khabibullin R.F. Solving physically nonlinear equilibrium problems for sandwich plates with a transversally soft core // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2015. – V. 36, № 4. – P. 474–481.
13. Badriev I.B., Banderov V.V. Numerical solution of the equilibrium of axisymmetric soft shells // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2014. – № 5 (64). – С. 16–20.
14. Badriev I.B., Banderov V.V., Gnedenkova V.L., Kalacheva N.V., Korablev A.I., Tagirov R.R. On the finite dimensional approximations of some mixed variational inequalities // Applied Mathematical Sciences. – 2015. – V. 9, № 113-116. – P. 5697–5705.
15. Бадриев И.Б. Решение вариационных задач нелинейных процессов механики сплошной среды // В книге: Теория управления и математическое моделирование Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием, посвященной памяти профессора Н.В. Азбелева и профессора Е.Л. Тонкова. Удмуртский государственный университет. – Ижевск: Изд-во "Удмуртский университет", 2015. – С. 234–235.
16. Бадриев И.Б. О решении вариационных неравенств второго рода // В сборнике: Сеточные методы для краевых задач и приложения Материалы Девятой Всероссийской конференции. – Казань: Отечество, 2012. – С. 32–35.
17. Бадриев И.Б., Бандеров В.В. Численное моделирование деформирования биокomпозитов // В книге: Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред Материалы XXI международного симпозиума имени А.Г. Горшкова. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – Москва: ООО "ТРП", 2015. – С. 7–9.
18. Бадриев И.Б., Задворнов О.А. Исследование разрешимости осесимметричной задачи об определении положения равновесия мягкой оболочки вращения // Известия высших учебных заведений. Математика. – 2005. – № 1. – С. 25–30.
19. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Калачева Н.В. Численное исследование вариационных и квазивариационных неравенств теории мягких сетчатых оболочек // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2015. – Т. 20, № 5. – С. 1037–1041.
20. Бадриев И.Б., Бандеров В.В. Численное решение задач о равновесии осесимметричных мягких оболочек // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 1. – С. 29–35.
21. Бадриев И.Б., Бандеров В.В. Итерационные методы решения вариационных неравенств теории мягких оболочек // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2013. – Т. 155, кн.2. – С. 18–32.
22. Badriev I.B., Garipova G.Z., Paimushin V.N., Makarov M.V. Numerical solution of the issue about geometrically nonlinear behavior of sandwich plate with transversal soft filler // Research Journal of Applied Sciences. – 2015. – V. 10, № 8. – P. 428–435.
23. Бадриев И.Б., Желтухин В.С., Чебакова В.Ю. О решении некоторых нелинейных краевых и начально-краевых задач // В книге: Материалы XXII Международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г. Горшкова Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – Москва: ООО "ТРП", 2016. – С. 31–33.
24. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Паймушин В.Н. Разрешимость физически и геометрически нелинейной задачи теории трехслойных пластин с трансверсально-мягким наполнителем // Известия высших учебных заведений. Математика. – 2015. – № 10. – С. 66–71.
25. Макаров М.В., Бадриев И.Б., Паймушин В.Н. Определение критических точек бифуркации для задачи о геометрически нелинейном поведении трехслойной пластины с трансверсально-мягким наполнителем // В сборнике: Воронежская зимняя математическая школа С. Г. Крейна - 2016. Материалы международной конференции. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2016. – С. 292–294.
26. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Макаров М.В., Паймушин В.Н. Исследование задачи об изгибе трехслойной пластины в физически нелинейной постановке // В сборнике: Математическое моделирование и краевые задачи Труды десятой Всероссийской научной конференции с международным участием: в 3-х томах, 2016. – С. 19–24.
27. Макаров М.В. Численное исследование геометрически нелинейной задачи о поперечном изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким наполнителем // Тенденции науки и образования в современном мире. – 2016. – № 17-2. – С. 26–35.
28. Макаров М.В. О решении геометрически нелинейных и линейных задач о поперечном изгибе жестко закрепленной трехслойной пластины с трансверсально-мягким наполнителем // Тенденции науки и образования в современном мире. – 2016. – № 19-2. – С. 23–29.

29. Paimushin V.N., Bobrov S.N. Refined geometric nonlinear theory of sandwich shells with a transversely soft core of medium thickness for investigation of mixed buckling forms // *Mechanics of Composite Materials*. – 2000. – V. 36, № 1. – P. 59–66.
30. Паймушин В.Н. Обобщенный вариационный принцип Рейсснера в нелинейной механике пространственных составных тел с приложениями к теории многослойных оболочек // *Известия Российской академии наук. Механика твердого тела*. – 1987. – № 2. – С. 171.
31. Adams R.A. *Sobolev Spaces*. – New York, San Francisco, London: Academic Press, 1975. – 286 p.
32. Вайнберг М.М. Вариационный метод и метод монотонных операторов. – М: Наука, 1972. – 416 с.
33. Гаевский Х., Грегер К., Захариас К. Нелинейные операторные уравнения и операторные дифференциальные уравнения. – М: Мир, 1978. – 336 с.
34. Бадриев И.Б. Математическое моделирование процессов механики сплошной среды при наличии точечных источников и нагрузок // В книге: *Материалы XXII Международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г. Горшкова Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)*. – Москва: ООО "ТРП", 2016. – С. 28–31.
35. Badriev I.B. Mathematical modeling of continuum mechanics problems with the point sources // В сборнике: *Проблемы химмотологии: от эксперимента к математическим моделям высокого уровня. Сборник избранных докладов VI Международной научно-технической конференции*, 2016. – С. 19–21.
36. Бадриев И.Б., Фанюк Б.Я. Итерационные методы решения задач фильтрации в многослойных пластах при наличии точечного источника // *Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки*. – 2010. – Т. 152, № 4. – С. 39–55.
37. Бадриев И.Б., Сингатуллин М.Т., Чебаков Ю.В. Численное исследование задач подземной установившейся фильтрации высоковязких жидкостей при наличии скважин // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. – 2015. – Т. 20, № 5. – С. 1041–1044.
38. Badriev I.B., Banderov V.V., Singatullin M.T. Numerical solution of non-linear filtration issues for high viscous fluids at the presence of wells // *Research Journal of Applied Sciences*. – 2015. – V. 10, № 8. – P. 343–346.
39. Badriev I.B., Fanyuk B.Y. Iterative methods for solving seepage problems in multilayer beds in the presence of a point source // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. – 2012. – V. 33, № 4. – P. 386–399.
40. Бадриев И.Б., Задворнов О.А. О сходимости итерационного метода двойственного типа решения смешанных вариационных неравенств // *Дифференциальные уравнения*. – 2006. – Т. 42, № 8. – С. 1115–1122.
41. Бадриев И.Б., Задворнов О.А. Итерационные методы решения вариационных неравенств второго рода с обратным сильно монотонными операторами // *Известия высших учебных заведений. Математика*. – 2003. – № 1. – С. 20–28.
42. Желтухин В.С., Чебакова В.Ю., Шнейдер М.Н. Моделирование ВЧЕ-разряда при больших межэлектродных расстояниях // В сборнике: *Сеточные методы для краевых задач и приложения. Материалы Девятой Всероссийской конференции*. – Казань: Отечество, 2012. – С. 183–186.
43. Абдуллин И.Ш., Желтухин В.С., Чебакова В.Ю., Шнейдер М.Н. Тематическая модель ВЧЕ-разряда в аргоне при больших межэлектродных расстояниях // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2013. – Т. 16, № 22. – С. 334–338.
44. Бикчантаев Д.Х., Желтухин В.С., Чебакова В.Ю. Численное исследование процесса взаимодействия высокочастотного емкостного разряда с материалами // В книге: *Теория управления и математическое моделирование. Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием, посвященной памяти профессора Н.В. Азбелева и профессора Е.Л. Тонкова. Удмуртский государственный университет*. – Ижевск: Изд-во "Удмуртский университет", 2015. – С. 241–242.
45. Желтухин В.С., Соловьёв С.И., Соловьёв П.С., Чебакова В.Ю. Вычисление минимального собственного значения нелинейной задачи Штурма – Лиувилля // *Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки*. – 2013. – Т. 155, № 3. – С. 91–104.
46. Бадриев И.Б., Ляшко А.Д., Панкратова О.В. Исследование сходимости итерационных методов решения нелинейных задач теории фильтрации // *Известия высших учебных заведений. Математика*. – 1998. – № 11. – С. 8–13.
47. Бадриев И.Б. Математическое моделирование стационарных задач подземной фильтрации с многозначным законом // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. – 2013. – Т. 18, № 5-2. – С. 2444–2446.
48. Чебакова В.Ю. Моделирование высокочастотного емкостного разряда при атмосферном давлении в аргоне // *Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки*. – 2016. – Т. 158, № 3. – С. 404–423.
49. Бадриев И.Б., Нечаева Л.А. Математическое моделирование установившейся фильтрации с многозначным законом // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика*. – 2013. – № 3. – С. 35–62.

## РАЗДЕЛ II. ХИМИЯ

Горшенев В.Н.<sup>1</sup>, Яковлева М.А.<sup>1</sup>, Телешев А.Т.<sup>2</sup>

### Способы очистки синтезированных кальций-фосфатных суспензий от нитрата аммония

<sup>1</sup>Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН

<sup>2</sup>Московский Педагогический Государственный Университет

(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-28-02-2017-1-02

idsp: 000001:lj-28-02-2017-1-02

#### Аннотация

Осуществлен синтез гидроксиапатита в условиях механо-акустической обработки водной реакционной смеси гидрофосфата аммония и нитрата кальция с помощью промышленно значимого роторно-пульсационного аппарата. Установлено, что механо-акустическая обработка реакционной смеси позволяет сформировать наноразмерные частицы гидроксиапатита, имеющие преимущественно средний диаметр около 20 нм. Предложены способы очистки технического гидроксиапатита от следов нитрата аммония декантацией надосадочной жидкости, ультразвуковой фильтрацией, электрофорезом, термической обработкой синтетического гидроксиапатита. Установлено, что термическая обработка гидроксиапатита не приводит к существенному изменению дисперсности при его диспергировании в воде. Центрифугирование гидроксиапатитовых суспензий приводит к формированию гидроксиапатитового концентрата в пастообразной форме.

**Ключевые слова:** гидроксиапатит, очистка, наночастицы,

#### Введение

В настоящее время проблема разработки биоадекватных имплантатов для заполнения и восполнения костных дефектов является актуальной и социально значимой. Важнейшими органическими составляющими костной ткани являются коллаген и протеогликаны, образующие межклеточный матрикс, в котором выстраиваются апатитовые структуры [1-3].

При разработке и создании биоимплантатов в качестве неорганической части костного имплантата широко применяется гидроксиапатит (ГАП). Поэтому одной из основных составляющих частей работы при разработке костезамещающих имплантатов является синтез ГАП и исследование его свойств. Дисперсионная среда, в которой равномерно распределяется гидроксиапатит, представляет собой гидрогель с коллагеновой дисперсной фазой. Такая композиция является наиболее близкой по своему составу и свойствам к костной ткани организма человека и может быть положена в основу создания искусственного заменителя костной ткани.

Синтез кальций-фосфатных соединений, развитие нанотехнологий их получения, по-прежнему, является актуальной задачей. Это связано с тем, что кальций-фосфатные соединения индуцируют биологические реакции, аналогичные протекающим в процессе остеогенеза. Синтез кальций-фосфатных частиц твёрдой фазы для медицинских приложений [4] осуществляют методом осаждения из растворов: 1) нитрата кальция и гидрофосфата аммония, 2) хлорида кальция и гидрофосфата натрия, 3) хлорида кальция и гидрофосфата калия, 4) ацетата кальция и гидрофосфата калия. Для изготовления керамических биокomпозитов в работе [5] из ацетата кальция и гидрофосфата натрия при температуре 600С, рН=14 реакцию проводили при интенсивном перемешивании. Через 30 минут после взаимодействия реагентов суспензию гидроксиапатита (ГАП) фильтровали на бумажном фильтре водоструйным вакуумным насосом. В результате был синтезирован порошок с максимальным размером частиц порядка 10 мкм и наиболее вероятным размером 3-3,5 мкм. При термической обработке синтезированного порошка в интервале температур 900-1100С наблюдалось уменьшение относительной плотности образцов, как считают авторы работы, за счёт терморазложения карбоната натрия и за

счёт образования двойного фосфата кальция натрия. Установлено, что сопутствующие продукты реакции приводят к образованию оксида кальция (CaO), который агрессивен по отношению к живым тканям [5].

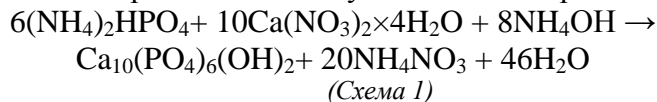
Синтез кальцийфосфатных соединений в работе [6] осуществляли гидролизом  $\alpha$ -Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> и отмечали важный параметр для кальцийфосфатных соединений – растворимость. Оказывается, что трикальций фосфат формы  $\beta$ - Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> растворяется в биологических жидкостях со скоростью, соответствующей скорости образования новой костной ткани. Состав исходной смеси реагентов существенно влияет на состав конечного продукта: то есть, может быть получен чистый трикальций фосфат или смесь трикальций фосфата с гидроксиапатитом.

В работах [7,8] для получения биокomпозитов применяли кальцийфосфатные порошки, отличающиеся по составу от гидроксиапатита: частицы различных фазовых составов и форм наночастиц: пластинчатые толщиной 0,8-4,5 нм и иглоподобные нанокристаллы диаметром 5-10 нм, длиной 40-50 нм. Установлено, что в зависимости от условий синтеза, фазового состава, структурных, морфологических характеристик, по-разному может проявляться свойство биоактивности частиц ГАП в живых системах. В работе [9] отмечается, что в результате многочисленных экспериментальных исследований определена высокая эффективность для замещения дефектов костной ткани и активизации репаративного остеогенеза биокomпозиционного материала: гидроксиапатита, содержащего коллаген с антибиотиками. Также отмечается необходимость достижения величины макропор в биокomпозите (не менее 300 микрон), что обеспечивает питание клеток, кровоснабжение, клеточное распространение по поверхности макропор и другие процессы. Высокие требования к чистоте имплантатов, отсутствию токсичности распространяются и на компоненты синтезируемых биоматериалов.

Цель работы состояла в синтезе кальций-фосфатной суспензии по реакции ионного обмена в водных растворах диаммонийфосфата, тетрагидрата нитрата кальция и гидроксида аммония путем механо-акустической активации реакционных смесей с помощью, роторно-пульсационного аппарата (РПА) и разработке способов очистки кальций-фосфатной суспензии от нитратов аммония.

#### Экспериментальная часть

Синтез наночастиц гидроксиапатита осуществляли по реакции обмена (схема 1):



с помощью роторно-пульсационного аппарата (РПА) (Рис.1), позволяющего сформировать в водной среде дисперсию гидроксиапатита [10-13]. Благодаря конструктивным особенностям установки РПА, жидкотекучие среды в зоне обработки подвергаются комплексному механоакустическому воздействию, за счет больших градиентов скоростей, вихреобразования и высокочастотных пульсаций. РПА имеет Санитарно-эпидемиологическое заключение и Сертификат соответствия, разрешающие его использование при производстве продукции широкого профиля.

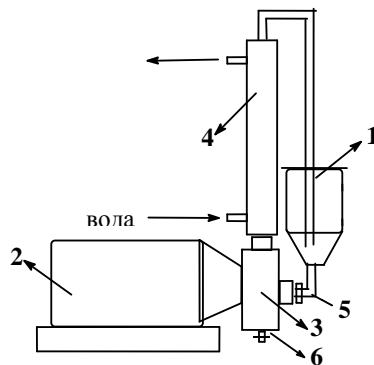


Рисунок 1. Схема подключения РПА: 1) загрузочная емкость, 2) РПА, 3) электродвигатель, 4) холодильник «труба в трубе», 5) термомпара, 6) сливной кран.

Тетрагидрат нитрата кальция в количестве 450 г растворяли в 5-ти л дистиллированной воды, добавляли 150 мл концентрированного раствора аммиака доводя рН смеси до 10,1. (раствор №1). Для приготовления раствора №2 диаммонийфосфат в количестве 151 г растворяли в 2-х л дистиллированной воды и концентрированным раствором аммиака задавали величину рН равную 10,0.

При включенном охлаждении в загрузочную емкость (Рис.1-1) помещали раствор №1 и запускали двигатель аппарата (Рис.1- 2.3) (2500 мин-1). Со скоростью 1 л/мин в загрузочную емкость вводили раствор №2. Смесь обрабатывали в рабочем режиме аппарата 2 мин. Образец пульпы переносили на вакуум-фильтр. Фильтровали и ретенат многократно промывали горячей водой до рН промывной воды 7,5.

Размеры частиц дисперсной фазы оценивали с помощью метода динамического светорассеяния на приборе Zetasizer Nano ZS Zen3600 «Malvern».

### **Очистка от нитратов аммония проводили различными способами;**

#### **1) декантацией (сменной) надосадочной жидкости;**

Для этого добавляли к синтезированной суспензии дистиллированную воду, после чего перемешивали несколько раз и оставляли отстаиваться на сутки, Надосадочную жидкость, в которую переходили нитраты (выход контролировали спектрально и по показаниям рН-метра), сливали. К оставшейся массе добавляли новую порцию дисперсионной дистиллированной воды. Процедуру повторяли 10 раз (т.е. объем промывочной жидкости составил приблизительно 25-30 литров).

Спектр поглощения надосадочной жидкости прописывали на спектрофотометре Shimadzu UV-1700 в кювете на 3мл с длиной оптического пути 1см. В качестве раствора сравнения выступала вода.

Концентрацию нитратов оценивали по интенсивности поглощения на длинах волн 202 нм и 302 нм. Для этих длин волн были построены калибровочные зависимости оптической плотности от концентрации в растворах нитратов аммония.

#### **2) очистка фильтрацией;**

Суспензию подвергали процессу фильтрации с включением ультразвукового перемешивания по схеме (Рис. 2). После очистки суспензии декантацией суспензия центрифугировалась. Центрифугирование проводилось на центрифуге Allegro 64R, Beckman в режиме 6000 мин-1 по 15-20 мин при 10 оС. В результате такой обработки все образцы суспензий гидроксиапатита приобретали пастообразную консистенцию. Пастообразный продукт реакции после центрифугирования диспергировался в воде с применением ультразвукового диспергатора (УЗДН - А) в течение 3-5 минут. И дальнейшая очистка осуществлялась по методу ультразвуковой фильтрации [14].

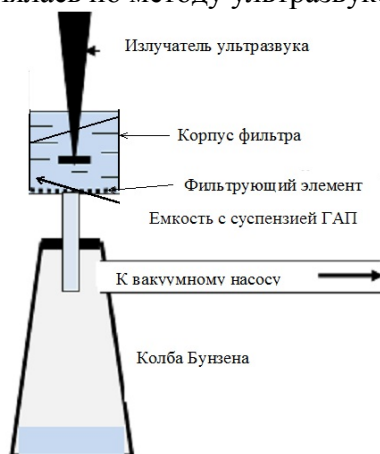


Рисунок 2. Фильтрация суспензии (ГАП) с включением ультразвукового перемешивания.

#### **3) очистка в электрическом поле - удаление нитратов аммония под действием электрического поля (Е).**

Для очистки суспензии от нитратов аммония была изготовлены лабораторная установка, схема которой представлена на рисунке 3.

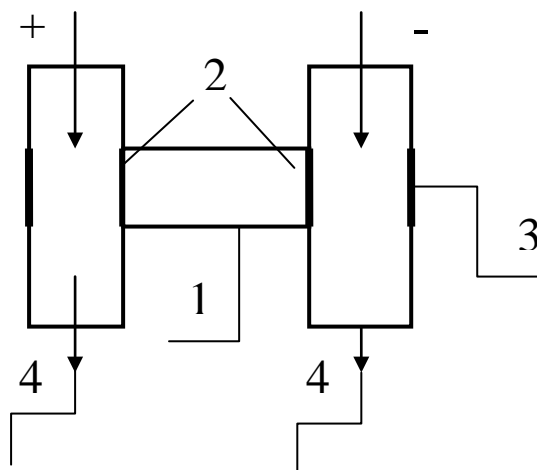


Рисунок 3. Схема очистки кальций-фосфатных суспензий от нитратов аммония под действием электрического поля (E): 1 – реактор с кальций-фосфатной суспензией; 2 – вставки с диализными пленками; 3 – электроды; 4 – трубки с проточной водой. Очистка под действием электрического поля приводит к движению положительного иона аммония ( $NH_4^+$ ) к отрицательному электроду, а движение отрицательного нитрата иона ( $NO_3^-$ ) происходит к положительному электроду.

#### 4) термической обработкой в интервале температур 3500С-4000С;

Методами термогравиметрического анализа (ТГА, на термомикровесах TG 209 F1 Iris фирмы «Netzsch» (Германия)) и дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК, («Netzsch», Германия, модель DSC-204 F1)) установлены режимы термообработки частиц ГАП, при которых происходит остаточное разложение нитратов аммония. Высушенный после центрифугирования образец пасты гидроксиапатита помещали в термопечь при температуре 350оС-4000С. на 20 минут. По изменениям спектров ИК, УФ-надосадочных жидкостей и методом ДСК контролировали очистку синтезированных частиц ГАП на присутствие нитратов аммония.

#### Результаты и их обсуждение

В результате проведенных синтезов реакцией ионного обмена между гидрофосфатом аммония и нитратом кальция (1) путем механо-акустической активация водных реакционных смесей с помощью РПА (Рис.1), получают образцы с дисперсией технического ГАП, характеризующейся частицами, имеющими средний диаметр примерно 20 нм. Массовая доля таких частиц в реакционной среде составляет ≈90% (Рис. 4).

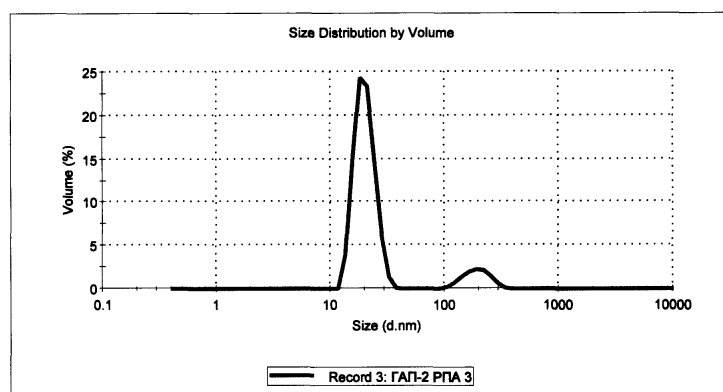


Рисунок 4. Распределение по размерам частиц гидроксиапатита, полученного в условиях формируются механо-акустической обработки, скорость вращения ротора РПА 3000 мин-1, скорость введения в реактор раствора диаммонийфосфата 0,5 л/мин.

В синтезированных суспензиях содержится большое количество нитрата аммония. Поэтому очистка от нитратов аммония осуществлялась различными способами, изготавливались лабораторные установки и, для оптимизации процесса очистки, определялась эффективность применяемых способов.

Так как нитрат аммония является важным химическим продуктом, то его сохранение в процессе очистки решается с применением разрабатываемых способов. Оценка содержания нитратов аммония по спектрам УФ проводилась в основном на начальных стадиях очистки суспензий декантацией при высоких концентрациях нитрата аммония. Результаты спектральных исследований исходных реагентов (Рис. 5) демонстрируют, что в спектральной области УФ на интенсивность спектров суспензий ГАП могут влиять присутствующие в растворах реагенты.

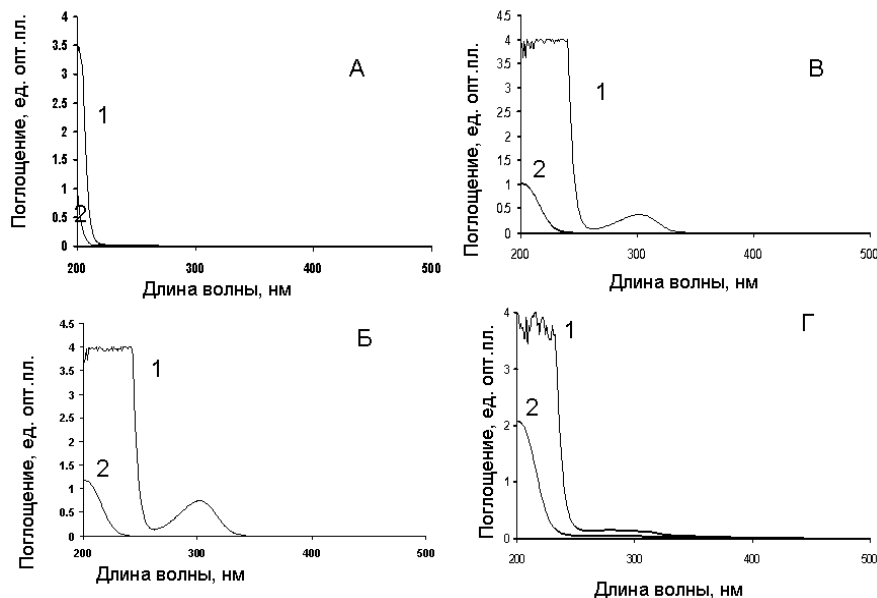


Рисунок 5. Спектры поглощения стандартных растворов соединений, участвующих в реакции синтеза ГАП, а также суспензии синтезированного ГАП. А-  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , Б-  $(\text{NH}_4)\text{NO}_3$ , В -  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , Г- суспензия ГАП

1 – концентрированный раствор, 2 – разбавленный раствор.

Как видно из спектров поглощения (Рис. 5) растворов веществ, участвующих в реакции по синтезу ГАП, все компоненты поглощают в области 200 нм, однако только нитраты обладают поглощением и в области 302 нм. Видно, что оба этих максимума присутствуют в спектре суспензии синтезированного технического ГАП. Таким образом, после синтеза частицы ГАП по ионно-обменной реакции необходимо проводить очистку от нитратов. Очистка декантацией приводит к длительному процессу очистки с большим расходом воды. Сменой надосадочной жидкости удастся отмывать гидроксипатит от нитрата аммония (Рис. 6).

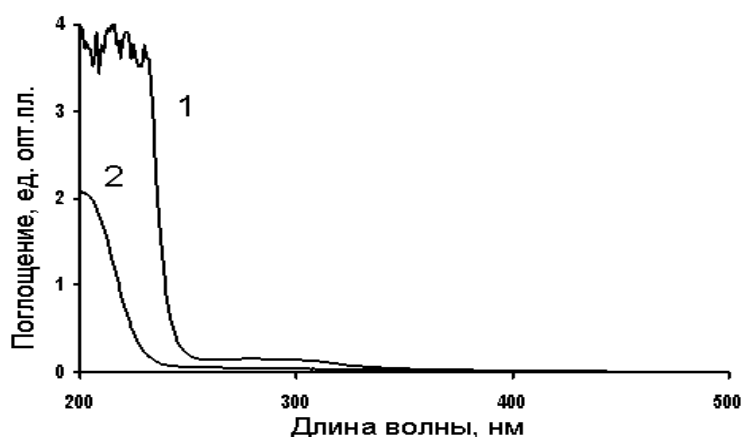


Рисунок 6. Спектр поглощения до и после очистки декантацией суспензий ГАП. 1- исходный образец ГАП, 2 - образец 1 после шести отмывок водой.

Спектр надосадочной жидкости на рисунке 6 свидетельствует о присутствии нитрата аммония. Кривая 1 — исходный образец после синтеза (концентрация нитратов

23,83 мМ на длине волны 302нм), кривая 2 – образец 1 после того, как его подвергли 6 раз очистке отмывкой в дисперсионной среде (концентрация нитратов 0,36 мМ на длине волны 202нм). Видно, что после 6 отмывок концентрация нитратов в образце 2 упала за 6 отмывок в 65,5 раз.

После очистки декантацией суспензии центрифугировалась проводилась ультразвуковая фильтрация на установке (Рис. 2) в течение 5-8 часов. При реализации метода ультразвуковой фильтрации [14], когда фильтруемый материал постоянно диспергировался в реакторе (Рис. 2), через который поступала вода, процесс очистки ускоряется.

Результаты очистки гидроксиапатитовых суспензий декантацией, фильтрацией в проводимом объёме не приводят к полному удалению нитратов. Фильтрование пульпы, трёхкратная промывка ретената водой, его сушка при температуре 120оС в течение 3-х ч приводит к образцу гидроксиапатита, загрязненного нитратом аммония (полосы поглощения 1330, 820 см-1) (Рис. 7).

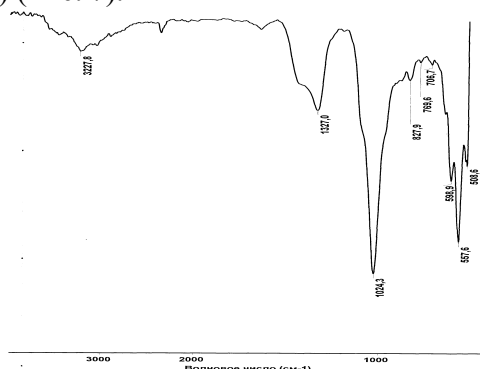


Рисунок 7. ИК-спектр образца гидроксиапатита, загрязненного нитратом аммония. Спектрометр Nicolet 380, стекло ZnSe.

Дальнейшая очистка суспензий проводилась с применением электрического поля (Рис.3). Очистка под действием электрического поля приводит к движению положительного иона аммония ( $NH_4^+$ ) к отрицательному электроду, а движение отрицательного нитрата иона ( $NO_3^-$ ) происходит к положительному электроду.

В реактор (1) (Рис.3) помещалась кальций-фосфатная суспензия. Торцы реактора закрывались диализной плёнкой. Через трубки с проточной водой продукты электрофореза удалялись. Электроды (3) изготавливались из платины (так как с латунными электродами частицы гидроксиапатита окрашивались в синий цвет за счёт ионов меди).

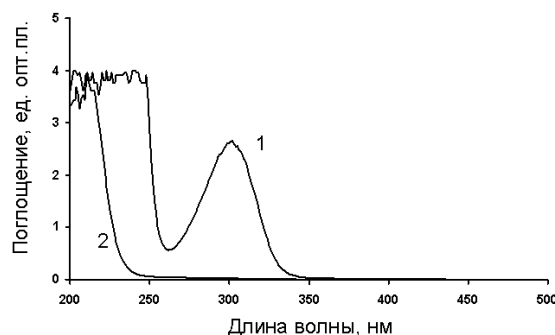


Рисунок 8. Спектры поглощения до и после очистки суспензий ГАП в электрическом поле. 1 - раствор до электрофореза. 2 - раствор после воздействия электрического поля на суспензию ГАП-2.

Способ очистки кальций-фосфатных суспензий под действием электрического поля можно применять для доочистки суспензий после многократной промывки водой. На рисунке 8 приведены результаты очистки под действием электрического поля (начальный ток в цепи - 10та, напряжение -30в).

Спектр надосадочной жидкости на рисунке 8 свидетельствует о присутствии нитрата аммония. Кривая 1- высушенный путем центрифугирования образец пасты гидроксиапатита– исходный образец (439,7 мМ нитратов на длине волны 302нм), кривая

2 – образец 1 после того, как его подвергли действия электрического поля в течение суток (4,7 мМ нитратов на длине волны 302нм). Видно, что концентрация нитратов в образце упала в 93,6 раза.

Спектры растворов надосадочной жидкости после центрифугирования суспензий (Рис. 8) показали, что можно доочищать от нитратов аммония суспензию под действием электрического поля по схеме, представленной на рисунке 3.

При выборе условий проведения очистки гидроксиапатитовых концентратов под действием электрического поля и изготовлении соответствующего оборудования эффективность и скорость очистки может значительно возрасти. Результаты очистки (Рис. 8) показали снижение концентрации нитратов 93,6 раза при токе 10та в течение суток.

Очистка частиц, суспензий ГАП от нитратов аммония перспективна и эффективна, но требуется создание необходимого оборудования. Высушенный после центрифугирования образец пасты гидроксиапатита после предварительной очистки методом 1 (декантацией) прогревали в термопечи при температуре 350оС в течение 20 минут. В результате термической обработкой в интервале температур 3000С-4000С гидроксиапатитового концентрата в термощкафу в течение 20 -30 минут происходит разложение нитрата аммония по реакции [4]:

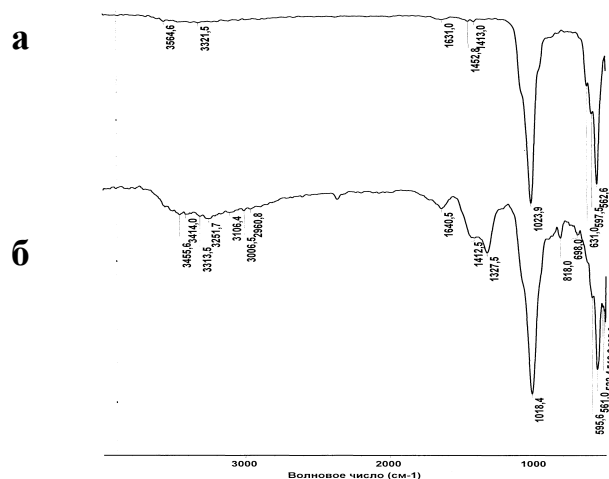
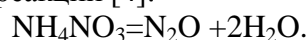


Рисунок 9. ИК-спектры: а) ГАП прогретого при 350 С в течение 20 мин, б) исходного неочищенного ГАП. Спектрометр Nicolet 380 (кристалл ZnSe).

В ИК-спектре отражения прокалённого образца характерная для нитрата аммония полоса поглощения в области 1330 см-1 не обнаруживается (Рис. 9а). В отражательном ИК-спектре твердого ГАП, подвергшегося термообработке при 350 оС, не зарегистрировано присутствие характерных для NH4NO3 полос поглощения в области 1330, 820 см-1. Это отличает термообработанный ГАП от исходного технического образца ГАП (Рис. 9б).

ИК-спектр термообработанного очищенного ГАП близок по своим параметрам к спектру чистого Ca3(PO4)2, что подчеркивает отсутствие в образце нитрата аммония (Рис. 10).

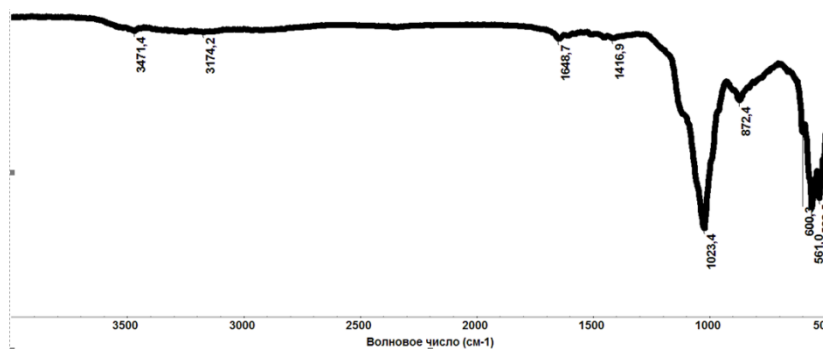
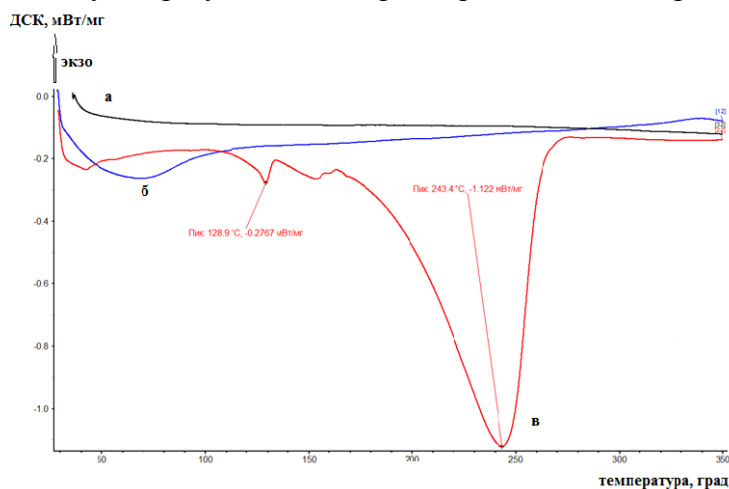


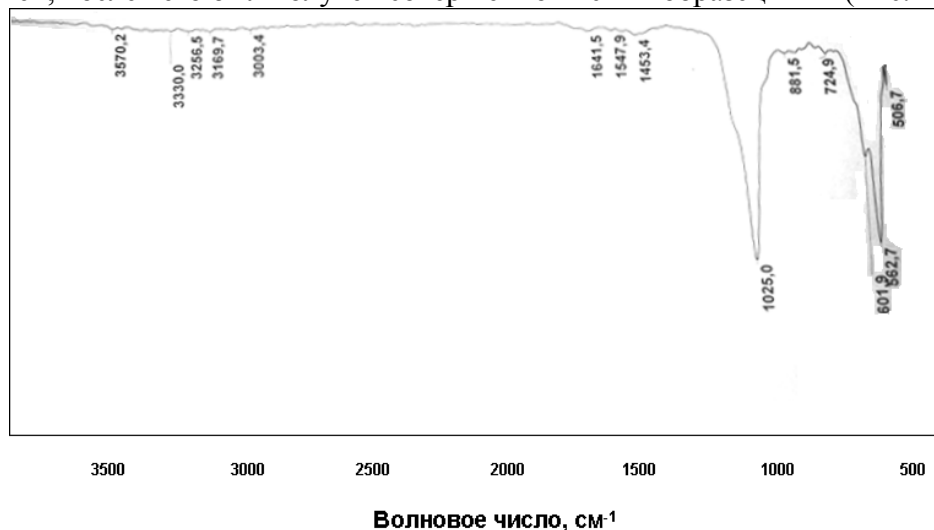
Рисунок 10. ИК-спектр чистого Ca3(PO4)2.

Данные элементного анализа очищенного ГАП, проведенные на CHN-анализаторе Eager 300, подтверждают полное отсутствие азотсодержащих примесей в термобработанном ГАП (эталон - нитрат аммония).

Дополнительным подтверждением отсутствия нитрата аммония в образце ГАП прогретого при 350оС служат результаты calorиметрического эксперимента (Рис. 11).



После тепловой обработки образец ГАП подвергли дополнительной очистке декантацией, после чего был получен совершенно чистый образец ГАП (Рис. 12).



Дополнительная проверка очищенного образца ГАП на токсичность надосадочной жидкости показала, что для клеток указанный образец не оказывает повреждающего влияния. Необходима стадия контроля токсичности как синтезированных порошков ГАП, так и надосадочной жидкости при образовании из порошка ГАП пасты. Проверка поведения клеток в растворах нитратов показала 100%-ю выживаемость клеток.

Однако, для очистки суспензий ГАП, содержащих органические компоненты способ очистки от нитратов должен исключать термическую обработку суспензий, поэтому в этом случае необходимо развивать способ очистки с использованием, например, электрического поля.

Для сохранения ценного продукта нитрата аммония и получения гидроксиапатита высокой чистоты разрабатывается пилотная технология синтеза, выделения продуктов синтеза их очистка с учётом полученных результатов.

## Выводы

1. Осуществлен синтез гидроксиапатита в условиях механо-акустической обработки водной реакционной смеси гидрофосфата аммония и нитрата кальция с помощью промышленно значимого роторно-пульсационного аппарата. Установлено, что, механо-акустическая обработка реакционной смеси позволяет сформировать наноразмерные частицы гидроксиапатита, имеющие преимущественно средний диаметр около 20 нм.
2. Предложена очистка технического гидроксиапатита от следов нитрата аммония различными способами, а именно декантацией, фильтрацией, под действием электрического поля и термическим способом.

## Список используемых источников информации

1. Boskey A.L., «Bone mineralization» in Bone Biomechanics, S. C. Cowin, Ed., pp. 5.1–5.34, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 3rd edition, 2001.
2. Harada S.I., Rodan G.A. Control of osteoblast function and regulation of bone mass. Nature. Vol. 423, no. 6937, pp. 349–355, 2003.
3. S.Weiner and H. D.Wagner, “The material bone: structure-mechanical function relations,” Annual Review of Materials Science, vol. 28, no. 1, pp. 271–298, 1998.
4. Сафронова Т.В, Шехирев М.А., Путляев В.И.,Третьяков Ю.Д. Неорганические материалы,2007, том43,№8, С.1005-1014.
5. 5.Т.В.Сафронова, А.В.Кузнецов, В.И.Путляев, А.Г.Вересов,В.К.Иванов. Керамика на основе гидроксиапатита, синтезированного из ацетата кальция и гидрофосфата натрия. Перспективные материалы. 2008. С.96-99.
6. О.В. Сеницына,А.Г. Вересов, Е.С. Ковалёва, Ю.В. Коленко, В.И.Путляев , Ю.Д Третьяков. Известия Академии наук. Серия химическая, 2005, №1, С. 78-85.
7. Stevens M.M. Biomaterials for bone tissue engineering. Materials Today.2008, v,11, no,5, p,18-25,
8. Sun J,S., Tsuang Y.H.,Liao C.J., Hang Y.S., Lin F.H. The effect of sintered – dicalcium phosphate particale size on newborn wistar ratosteoblasts. Atifinal Organs, 1999, v,23, no,4, p.331-338.
9. Г.Н. Берченко. Синтетические кальций-фосфатные материалы в травматологии и ортопедии. Всесоюзная научно-практическая конференция. «Применение искусственныхкальциево-фосфатных биоматериалов в травматологии и ортопедии. М.2010, С. 3-5.
10. Горшенев В.Н., Телешев А.Т., Ершов Ю. А., Казиев Г. З., Колесов В. В.. Склянчук Е. Д. Способ получения пористого костного биокомпозита // Пат. РФ № 2482880. 2013. БИ №15. 2013.
11. Просвирин А.А., Склянчук Е.Д., Гурьев В.В., Горшенев В.Н., Телешев А.Т., Акатов В.С., Фадеева И.С., Фадеев Р.С. , Шушкевич А.М. Физико-химические свойства и биосовместимость наноструктурированного пористого костного имплантата. Технологии живых систем, Т.10, №8. 2013. С.68-73.
12. КесельБ.А., ФедоровА.Д., ГимушинИ.Ф. КесельБ.А.; ФедоровА.Д.; ГимушинИ.Ф.; ВолковГ.А.; ГатауллинР.Ш.; ВоскобойниковД.В.; ВесельевД.А. Роторно-пульсационныйаппарат (рпа) // Патент №2166986 (РФ). БИ. 2006, 11.
13. Горшенев В. Н., Ершов Ю.А., Телешев А.Т., Склянчук Е.Д., Просвирин А.А.5, Григорьев С.А. Гидроксиапатитовые биокомпозиты медицинского назначения. Медицинская Техника, 2014, №1(283), С. 30-33.
14. Акопян В.Б. Ершов Ю.А. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами М. Юрайт, 2016, С. 223.

## РАЗДЕЛ III. ФИЗИКА

Герасименко Е.Ю., Переходов М.В., Кобец В.А.

Исследование динамики трибоэлектрохимического процесса на плоскости

Донской Государственный Технический Университет

(Россия, Ростов-на-Дону)

doi: 10.18411/lj-28-02-2017-1-03

idsp: 000001:lj-28-02-2017-1-03

### Аннотация

В данной работе исследуется динамика трибоэлектрохимического процесса на плоскости.

**Ключевые слова:** трибоэлектрохимический процесс, аттракционная сила, сила трения скольжения.

В работе рассматриваются вопросы динамики одномерного трибоэлектрохимического процесса на плоскости. Схема исследования трибоэлектрохимического процесса представлена на рисунке 1.

Уравнение движения в векторной форме имеет вид

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_a + \vec{F}_T, \quad (1)$$

где  $\vec{N}$  – реакция плоскости;  $\vec{F}_T$  – сила трения скольжения;  $\vec{F}_a$  – аттракционная сила, возникающая на электролитной смазке

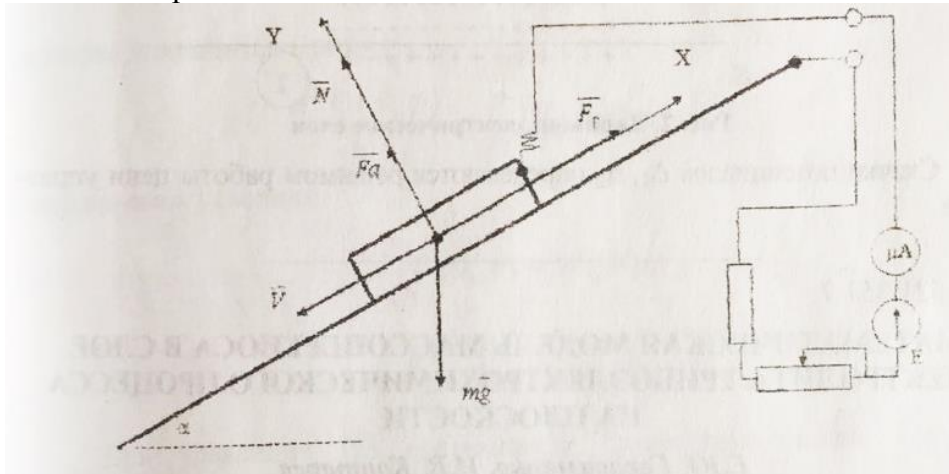


Рис.1. Одномерный трибоэлектрохимический процесс.

Проецирование векторного уравнения (1) на оси координат дает систему уравнений

$$\begin{cases} m \frac{dV}{dt} = -mgsin\alpha + \mu N, \\ 0 = N + F_a - mgcos\alpha, \end{cases}$$

где  $V \equiv |\vec{V}|$ ,  $g \equiv |\vec{g}|$ ,  $N \equiv |\vec{N}|$ ,  $F_a \equiv |\vec{F}_a|$ ;  $\mu$  – коэффициент трения скольжения.

Система дает

$$N = mg \cos \alpha - F_a, \quad (2)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\mu}{m} F_a + g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha). \quad (3)$$

Аттракционная сила  $\vec{F}_a$  имеет электростатическую природу и может быть приближено рассчитана.

Она приближенно может быть рассчитана как результат взаимодействия макро точки (тела) с бесконечной в обе стороны плоскостью:

$$F_a = \frac{C_{ge1}C_{ge2}\theta S_1\Delta_1\Delta_2}{\pi\epsilon l}, \quad (4)$$

Где  $C_{gc1}$ ,  $C_{gc2}$ - удельные электрические емкости двойных электрических слоев, указанных на рис.2;  $\theta$  – ширина наклонной плоскости;  $S_1$  – площадь опоры движущегося тела;  $\Delta_1, \Delta_2$ - скачки электрических потенциалов на 1-м и 2-м двойных электрических слоях;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость электролитной смазки;  $l$ - толщина слоя смазки.

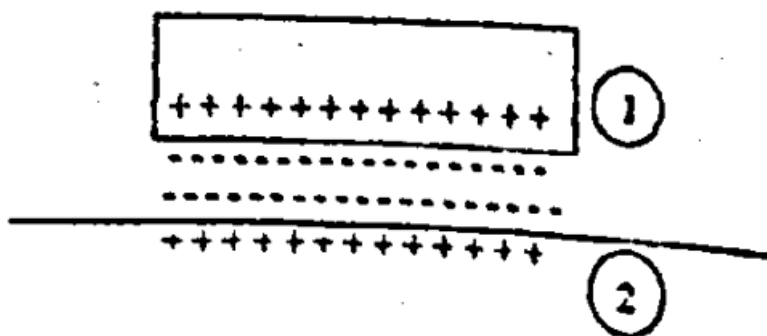


Рис.2. Двойные электрические слои

Скачки потенциалов  $\Delta_1, \Delta_2$  будут определяться режимом работы цепи управления.

Список используемых источников информации

1. Л.И.Антропов «Теоретическая механика»

## РАЗДЕЛ IV. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Alhousni A.H., Konovalov I.E.**

### **Identify the most effective and important Factors which limiting of the development of the performance of sprinters**

*Volga state academy of physical culture, sport and tourism  
(Russia, Kazan)*

doi: 10.18411/lj-28-02-2017-1-04

idsp: 000001:lj-28-02-2017-1-04

#### **Annotation**

It can be happened that the sprinter reach a limited level , does not happen after it evolution for performance. Or happens a slowly evolution not equal the capabilities in the sprinter ,all of this could be happens because of one mistake during the training process , which is not clear for a coach or sprinter .the current high level for sprinters around the world , Do not leave any chance for a breakthrough athlete with a simpler effects .Even if the extreme elements of the talent and the willingness for sprinter were available , In this article, we works to draw attention to some of these factors to correct or not to make them . Is also working to determine which one of these factors is more Frequent, and the greatest impact.

#### **Research tasks:**

1. Identify the factors which limiting develop the performance of sprinters in Kazan city.
2. Identify any of these factors more widespread and effective.

In the result we hope to get to know the most important specific performance factors, and treatment of existing ones, and to draw the attention of coaches to avoid the appearance of the common ones , which will allow the correct development of the sprinters .

It is enough to know, for example, Jamaican sprinter Usain Bolt suffered torso angle a little more conventional front during the run ,Which had a negative impact on his the performance , But help's coach Glen Mills for him contributed to solve this problem, and improve his level in correct way.

Thus, to draw the attention coaches of Kazan city to the most formative errors spread and impact, which will have a great benefit through avoided in the future in terms of the use of pre-existing ways to avoid them, or create new ways to deal with them in a correct way.

#### **The most popular and affective factors for sprinting**

Through our searching in multiple scientific references We could initially consider some of the factors that have long existed among runners around the world

Studying whether the impact is really enough to make sprinter level in the natural course.

#### **1 - The correct running technique**

Fire 2002 identifies following parameters effective style to run

- Recovery higher heel once you foot leaves ground Fulcrum
- feet touch the ground near as possible from the point on the bottom of body mass.
- Must ankle swing forward to cross the pivot feet above the knee
- Backslash arms when attached back as if they reach to put a pocket in the thigh.
- Relax your hands and shoulders, neck and jaw and face
- Upright head and eyes on the finish line focusing
- running over a straight line with a very small amount of side movements

#### **2 - the Step length**

for sprinters , the average step length in distance between 60 to 100 m Should be equal to the tall of sprinter +40% of his tall the average step length in distance between 30 to 60 meters It should equal to the length of sprinter + 20% of his tall

#### **3 - The correct starting technique**

sprinter must achieve increase of 15 cm each step from the previous one, in the first seven steps which will be taken in the first 10 m

#### **4 - speed reducing in the last 30 m**

The reduced speed in the 30-m final at about 3% part of a second will be regular and routine, but this reduced speed of more than 10% of a second explains that the sprinter has lost part of his capabilities

#### **5 - sprinter ideal weight**

sprinter ideal weight should be 42.5% of his tall.

#### **Conclusions**

taking into account the above factors the as appropriate for the compensate for the loss in time through correcting running or starting technique sprinter, or modify its weight to approach as much as possible from the ideal weight or work to raise the frequency of running speed , or continue to the end without delay will give the sprinter the chance to develop his performance to high levels , and when we have a clear idea about the most affective and repeating the coaches will be attention to deal with them and the researchers will directing there to find a new creative solutions.

#### References:

1. Алхусни, А. Х. Определение наиболее важных факторов, которые ограничивают производительность спринтеров / А.Х. Алхусни, И.Е. Коновалов // Актуальные проблемы теории и практики физической культуры, спорта и туризма: материалы IV межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов. – Казань: Поволжская ГАФКСиТ, 2016. – С.304-305.
2. Hadzhar.O, the factors that determine the time-streaming athletics release the 2004 bulletin-C12 35\_40.
3. the best exercises sprinters, athletics bulletin-2 graduates 2000 s14-18.
4. the development of muscle strength for children reservations and reality-Refat Osman -Easy lifting-Newsletter Issue 17 Cairo 2006 s6\_12.
5. Postavisi.A, cliometrics to training in athletics, athletics Bulletin-19 graduates in 2006, s32\_36.

#### **Багайсков Ю.С.**

#### **Анализ особенностей структуры высокопористых абразивных инструментов на керамической связке**

*Волгоградский государственный технический университет  
(Россия, Волгоград)*

*doi: 10.18411/lj-28-02-2017-1-05*

*idsp: 000001:lj-28-02-2017-1-05*

Операции абразивной обработки предназначены для обеспечения высокой точности и качества поверхностей деталей, в основном термообработанных. Эффективность применения абразивных инструментов зависит от вида материала детали, режимов и условий обработки, а также характеристики инструмента. К основным параметрам характеристики абразивных инструментов относятся: вид и зернистость абразивного материала, степень твердости и номер структуры, вид связки, рабочая скорость, классы точности и неуравновешенности [1].

Зернистость абразивного материала определяет в большей степени величину шероховатости обрабатываемой поверхности. Чем меньше зернистость, тем ниже шероховатость, при этом ниже и производительность обработки. Чтобы обеспечить увеличение частоты вершин абразивных зерен на рабочей поверхности инструмента без потери производительности, необходимо вводить мелкозернистые фракции абразивных материалов дополнительно к основным.

За основу взята модель упаковки абразивных зерен в виде комплекта шаров [2]. Тогда максимальная плотность упаковки шаров одного диаметра может быть достигнута в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1, с учетом объемного представления. Формируется блок четырех зерен, каждый из которых контактирует с тремя остальными. Из таких блоков, связанных между собой, состоит структура материала, в целом каждое зерно контактирует с 14-ю другими, находящиеся на поверхности – с 10-ю.

Теоретические расчеты показывают, что доля свободного объема при плотной упаковке моделей (шаров) составляет 21,3%. С учетом коэффициента развитости

поверхности абразивного зерна, при пересчете с удельных весов всех компонентов абразивной массы на их насыпные веса, доля объема, приходящаяся на поры (и связку) при свободной насыпке массы при формовании составляет 55%. Фактический объем пор больше теоретического в  $0,55/0,213$  раз, т.е. в 2,582 раза. Тогда в пересчете на линейный размер - диаметр зерна наполнителя по сравнению с диаметром зерна абразива:  $d_n \text{ факт} = 1,73 \cdot d_n = 1,73 \cdot 0,213d_1 = 0,385d_1$ .

В формуле коэффициент 1,73 получен из сравнения условных диаметров пор, фактического и теоретического.

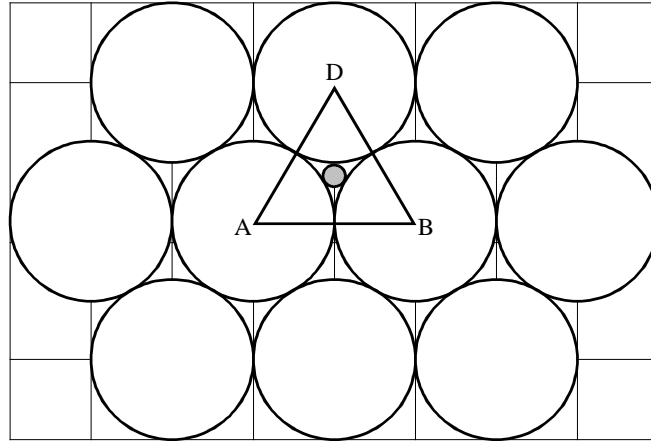


Рис. 1. Схема максимальной упаковки шаров (зерен)

Структура композиционного материала абразивных инструментов представляет собой совокупность абразивных зерен, связки и пор и определяется номером структуры. Степень пористости не зависит от номера структуры при одной и той же твердости, а при одном номере структуры – снижается с увеличением степени твердости. Таким образом, повышение пористости происходит при снижении степени твердости, как правило, в диапазоне, так называемых, открытых структур (№ 9 и выше. Одним из главных условий равномерности структуры можно принять соответствие количества зерен абразива и числа пор:  $n_1 = n_{пор}$ , где  $n_1$  и  $n_{пор}$  – количество зерен абразива и число пор.

На рис.2 приведен график зависимости соотношения  $K1$  диаметров естественных пор и абразивных зерен, при их упрощенном моделировании в виде шаров, от степени твердости при различных номерах структур. При этом  $K1 = d_2 / d_1$ , где  $d_2$  и  $d_1$  – диаметры поры и абразивного зерна.

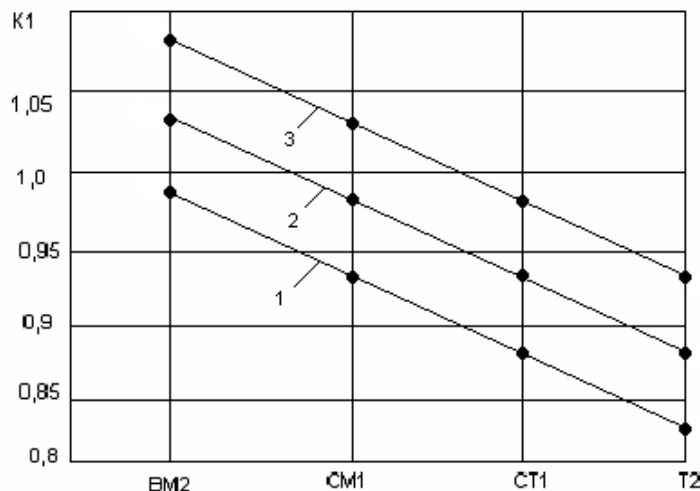


Рис.2. Зависимость соотношения диаметров естественных пор и абразивных зерен ( $K1 = d_2 / d_1$ ) от степени твердости при номерах структуры №6 (1), №9 (2) и №12 (3) без введения порообразователей

Расширить нижний предел по содержанию абразива и, соответственно, по увеличению пористости, кроме естественных пор, можно за счет искусственного введения порообразователей. При этом в зависимости от зернистости и количественного содержания порообразователя закладывается структура определенной, как правило, высокой пористости [3,4].

Но применение порообразователя, с другой стороны, приводит к ряду технологических проблем, главная из них – неравномерность распределения частиц порообразователя в смеси, что в конечном итоге приводит к существенному расхождению значений твердости как от центра к периферии по радиусу, так и по высоте инструмента. Кроме того, это отражается и на степени неуравновешенности инструментов. Причина – различие в удельном и насыпном весе порообразователя по сравнению с другими компонентами смеси, особенно с абразивом. Так, насыпной вес абразивных материалов – 1,4 – 1,8 г/см<sup>3</sup>, связки – 0,8 – 0,9 г/см<sup>3</sup>, а косточкового порообразователя примерно 0,6 г/см<sup>3</sup>.

В связи с тем, что порообразователь вводится дополнительно к расчетной рецептуре, при заданных номере структуры и степени твердости, фактически за счет увеличения степени пористости изменяется содержание абразивного зерна по отношению к остальным компонентам, а значит и номер структуры.

Рецептура абразивной массы рассчитывается по отношению к 100 весовым частям (в.ч.) абразивного материала. Объемное содержание абразивного материала, отнесенные к 100 % (A<sub>100</sub>), можно определить по следующей формуле:

$$A_{100} = 100 A / (A + B + C + D) , \quad (1)$$

где A, B, C и D – объемные содержания абразива, связки, клеящего увлажнителя и порообразователя, соответственно, определенные как отношения их массового содержания в в.ч. к насыпным весам.

На рис. 3 приведены результаты расчета величины A<sub>100</sub> для абразивного инструмента с исходным номером структуры № 10 для степени твердости ВМ-СТ при различном содержании порообразователя (до 30 в.ч.).

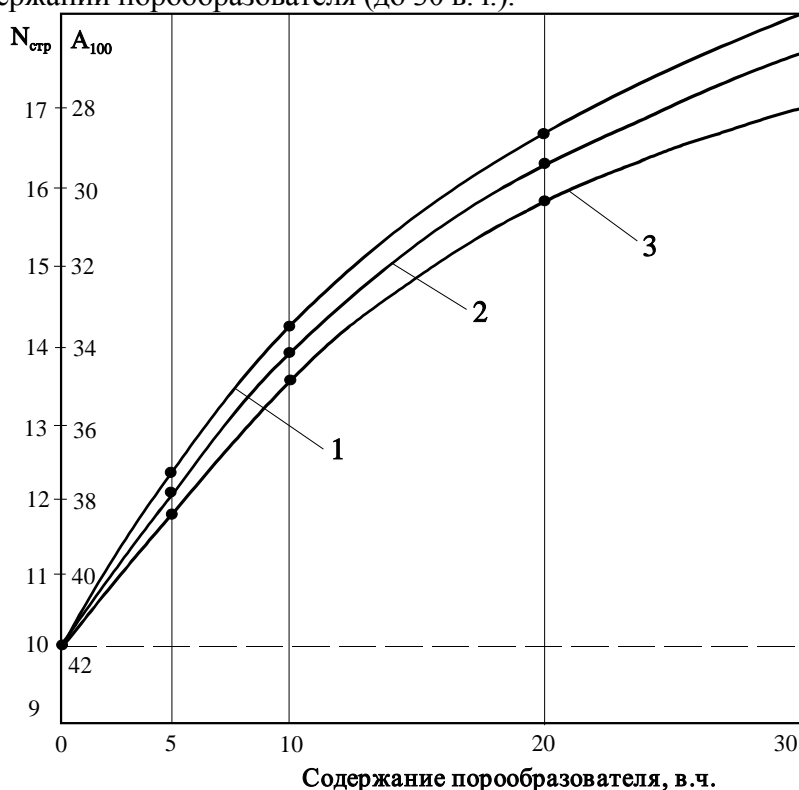


Рис. 3. Фактическое объемное содержание абразивного зерна A<sub>100</sub> и номер структуры в зависимости от содержания порообразователя при степенях твердости ВМ (1), СМ(2), СТ (3)

Анализ показывает, что с увеличением содержания порообразователя объем абразива уменьшается, при этом фактический номер структуры возрастает в сторону открытости. Так при заданной структуре №10 и содержании порообразователя 30 в.ч. номер структуры возрастает до №16-18. Результат зависит и от степени твердости – для большей твердости изменение меньше, однако незначительно, в пределах 1 – 2 номеров структуры. Для инструмента из карбида кремния при равных условиях изменения по сравнению с электрокорундом меньше, примерно на 1 номер структуры.

Для обеспечения наиболее равномерной структуры высокопористого материала в имеющиеся свободные ячейки между зернами абразива и основного порообразователя можно вводить порообразователь другой зернистости с размером частиц менее размера зерен абразива или примерно равный по величине зернам. В первом случае необходимо использовать соотношение размеров частицы порообразователя - наполнителя и диаметра зерна абразива, равное 0,2 – 0,3, как для мелкозернистого наполнителя. Общее количество частиц такого полифракционного порообразователя может быть равно количеству зерен абразива, что способствует получению равномернопористой структуры.

Как известно, объем шара(как модели формы абразивного зерна и порообразователя) равен:

$$V = 3,14 d^3 / 6 \sim d^3 / 2. \quad (2)$$

Тогда суммарный объем абразивных зерен( $V_1$ ) и порообразователя ( $V_2$ ), соответственно, составит :

$$V_1 = n_1 d_1^3 / 2 \quad (3)$$

$$V_2 = n_2 d_2^3 / 2 ,$$

где  $n_1$  и  $n_2$  - количество абразивных зерен и частиц порообразователей,  
 $d_1$  и  $d_2$  - размеры абразивных зерен и частиц порообразователей.

При условии равенства количества абразивных зерен и частиц порообразователей ( $n_1=n_2$ ), отношение  $K$  объемов порообразователей и абразива составляет:

$$K = V_2 / V_1 = (d_2/d_1)^3 \quad (4)$$

Если принять неравенство количества абразивных зерен ( $n_1$ ) и частиц порообразователей( $n_2$ ) при соотношении  $m = n_2 / n_1$ , то значение  $K$  будет:

$$K = m(d_2/d_1)^3 \quad (5)$$

На рис. 4 приведены зависимости соотношения  $K$  объемов порообразователей и абразива от соотношения размеров их частиц при разных значениях  $m$  - отношения количества частиц порообразователей и зерен абразива. Базовая зависимость будет при  $m = 1$ , то есть  $n_1 = n_2$ , в случае  $d_2/d_1 = 1$ , отношение объемов также будет равным единице.

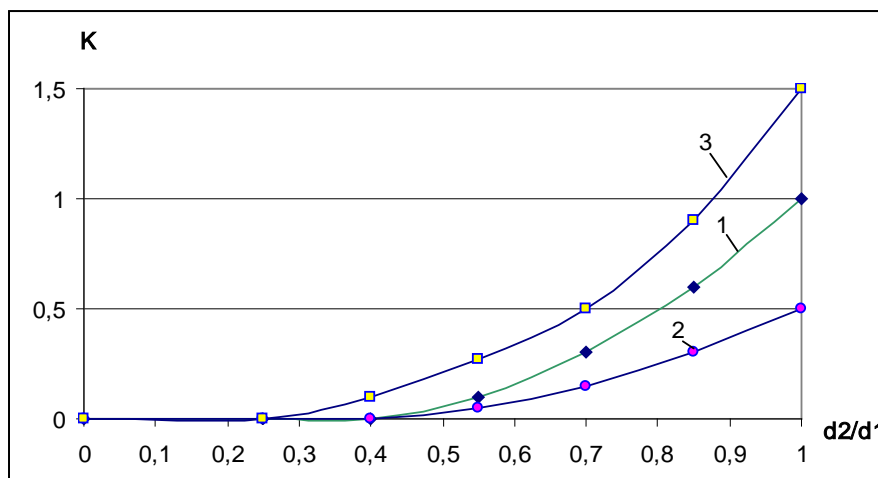


Рис.4. Зависимости соотношения  $K$  объемов порообразователей и абразива от соотношения размеров их частиц  $d_2/d_1$  при разных значениях  $m = (n_2 / n_1)$  - отношения количества частиц порообразователей( $n_2$ ) и зерен абразива( $n_1$ ):  $m = 1$  (1),  $m = 0,5$ (2),  $m = 1,5$ (3)

При уменьшении соотношения  $m$  снижается соотношение  $K$ , при увеличении – возрастает. Исходя из требований технологичности производства и обеспечения эффективности работы инструмента можно считать рациональным состав абразивной массы по соотношению размеров и содержания абразивных зерен и порообразователей:  $d_2/d_1 = 0,7-0,9$  при  $n_1=n_2$ .

Таким образом, исследованы особенности структуры высокопористых абразивных инструментов на керамической связке, в том числе по соотношению размеров естественных пор и абразивных зерен, фактического получения высокого номера структуры при введении порообразователей, обеспечении равномерности структуры высокопористых инструментов при рациональном соотношении размеров абразивных зерен и порообразователей, сохранении равенства их количественного состава.

#### Список используемых источников информации

1. Гаршин, А.П. Абразивные материалы и инструменты. Технология производства: Учеб. пособие / А.П. Гаршин, С.М. Федотова / Под общ. ред. проф. А.П. Гаршина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 1010 с.
2. Багайсков, Ю. С. Повышение эксплуатационных показателей изделий из абразивных композиционных материалов: Монография / Ю. С. Багайсков, В. М. Шумячер // ВолгГАСУ. – Волгоград, 2005. – 200 с.
3. А.с. 1812087. МКИ В24D 3/14. Масса для изготовления пористого абразивного инструмента / В.П. Манунин, Ю.С. Багайсков, А.В. Лежнева, Т.Н. Дуличенко. – Опубл. 30.04.93. Бюл. №16.
4. Багайсков, Ю. С. Улучшение структурно-механических и эксплуатационных свойств абразивных инструментов с порообразователем / Ю. С. Багайсков, В. М. Шумячер // Технология машиностроения. – 2007. – № 3. – С. 34 – 38.

**Кучеров А.С., Борзов Д.Б.**

#### **Планирование размещения программ в динамических мультипроцессорных системах**

*Юго-Западный государственный университет  
(Россия, Курск)*

*doi: 10.18411/lj-28-02-2017-1-06*

*idsp: 000001:lj-28-02-2017-1-06*

В настоящее время многопроцессорная техника находит все большее применение в различных сферах жизни[1]. При этом часто используются сетевые многопроцессорные системы (СМС)[2].

Идея СМС основана на взаимодействии отдельных процессорных модулей по беспроводной связи с использованием соответствующих стандартов высокоскоростной передачи данных, т.к. LTE (Long Term Evolution), Wi-Fi (Wireless Fidelity) и т.п.

Главная проблема СМС – оптимальное распределение задач среди входящих в систему вычислительных устройств. Задача становится сложнее, если положение отдельных ВМ в пространстве меняется во времени. В таких случаях используется модель локальной вычислительной сети.

Локальная вычислительная сеть (ЛВС) – это совокупность компьютеров и компьютерного оборудования (коммутаторы, маршрутизаторы, сервера), находящихся, как правило, на территории какого-либо предприятия/организации, соединенных между собой проводными или беспроводными каналами связи и выполняющих определенную вычислительно емкую задачу.

Для достаточно быстрой работы ЛВС необходимы надежные и быстрые каналы связи между ЭВМ, входящими в нее. Все каналы связи локальной вычислительной сети описываются ее топологией.

Топология сети представляет собой взвешенный ориентированный граф (каналы приема и передачи могут иметь разную пропускную способность.) Для наглядного представления особенностей сети предлагается рассматривать матрицу расстояний – квадратную матрицу, значение ячейки которой равно величине, обратной пропускной способности канала между  $i$ -й и  $j$ -й вычислительной машиной.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $r_{ij}$  – расстояние между  $i$ -й и  $j$ -й ВМ в СМС.

Если  $r_{ij}$  близко к 0, то пропускная способность канала высокая. Соответственно, данные от  $i$ -й к  $j$ -й вычислительной машине будут передаваться без больших задержек. Если  $r_{ij}$  близко к бесконечности, то пропускная способность канала низкая; следовательно, желательно избегать прямого обмена большими порциями данных между этими двумя машинами.

В проектируемой модели каждая вычислительная машина может выполнять следующие роли:

1. Рабочая станция – ВМ, непосредственно занятая частью общей вычислительной задачи;
2. Сервер – ВМ, распределяющая задачи между рабочими станциями, осуществляющая информационный обмен и хранящая вычислительную информацию;
3. Резервное хранилище – ВМ, хранящая вычислительную информацию.

Локальная вычислительная сеть может включать в себя один сервер, несколько резервных хранилищ и рабочих станций. ВМ, исполняющая роль сервера или резервного хранилища, может также участвовать в общих вычислениях, то есть являться одновременно рабочей станцией.

Преимуществом разрабатываемой модели перед имеющимися является ее устойчивость к следующим факторам:

- выход из строя рабочей станции или ее отключение от сети: опрос рабочей станции производится по тайм-ауту, определяемому в зависимости от вычислительной сложности задачи;
- выход из строя сервера: в этом случае все вычислительные данные могут быть получены из резервных хранилищ;
- изменение топологии сети: изменение топологии влечет за собой изменение матрицы расстояний (1), и, как следствие, перераспределение задач между рабочими станциями ЛВС.

#### Список используемых источников информации

1. Борзов Д.Б., Титов В.С. Вопросы проектирования и динамической реконфигурации топологии систем логического управления в системах высокой готовности: монография / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2015. – 282 с.
2. Данильченко Н.В., Макеев С.Н. Масштабируемый мультипроцессор для цифровой обработки сигналов // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем – 2012: сб. тр. / под общ. ред. акад. РАН А.Л.Стемпковского. – М.: ИПИМ РАН, 2012. – С. 495–500.

**Ле Дык Тиеп, Нгуен Ван Чонг**

**Улучшенный алгоритм векторной ШИМ для регулирования частоты вращения вала асинхронного двигателя**

*Московский Авиационный Институт  
(Россия, Москва)*

*doi: 10.18411/lj-28-02-2017-1-07*

*idsp: 000001:lj-28-02-2017-1-07*

#### **Аннотация**

В статье предложен алгоритм формирования напряжения на обмотках асинхронного двигателя (АД) в режиме векторной ШИМ при регулировании частоты вращения асинхронного двигателя. Предложено использовать в алгоритме формировать дополнительные векторы для алгоритма векторной ШИМ, как способ управления сквозных токов. Приведены результаты имитационного моделирования предложенного алгоритма векторной ШИМ, которые показали её работоспособность. Приведено способ регулирования частоты вращения асинхронного двигателя, показано что разработанный алгоритм с использованием промежуточных векторов позволил исключить сквозные токи

первого рода в инверторе при управления двигателем и уменьшать его колебание скорости, момент и тока статора средством увеличения количества формируемых векторов в каждом секторе.

**Ключевые слова:** векторная широтно-импульсная модуляция, электропривода синхронного двигателя, трехфазный инвертор, силовой транзисторный ключ.

### Содержание

Широтно-импульсная модуляция применяется в преобразовательной технике, как способ формирования импульсного напряжения и регулирования его параметров. Известно большое число различных методов ШИМ, к достоинствам которых следует отнести обеспечение широкого линейного диапазона модуляции; снижение потерь на переключение силовых ключей транзисторов; улучшение спектрального состава и простоту реализации. Один из способов реализации ШИМ при управлении асинхронного двигателя – формирование изображающего вектора напряжения статора. Этот метод применяется в подавляющем большинстве систем с пространственно-векторным формированием ШИМ.

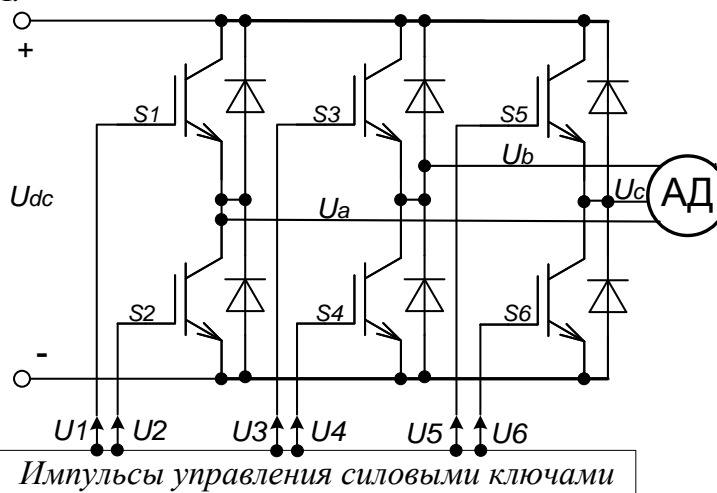


Рис. 1 Структура подключения трехфазного инвертора к АД

Для управления шестью ключами существуют  $2^6 = 64$  состояния, из которых рабочими является ограниченное число [5, 6, 7, 8]. Обозначим их состояниями символами  $V_x$  и  $V_{xy}$ .

Где:

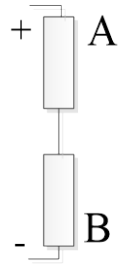
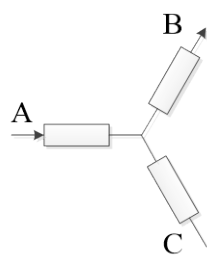
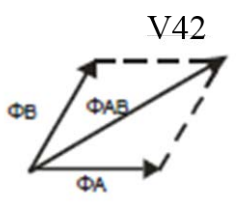
- $V_x (x = 0, 1..7)$  – базовые векторы;
- $V_{xy}$  – остальные рабочие состояния ключей инвертора; где  $x$  – является десятичным значением двоичных кодов ключей  $S1S3S5$ ,  $y$  – является десятичным значением двоичных кодов ключей  $S2S4S6$ . При традиционном векторном формировании ШИМ [1, 2, 3] используются 8 состояния ключей инвертора, которые описываются 8-ю векторами  $V_0, V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$ . При формировании более одного вектора в секторе (рассмотрим для примера сектор, ограниченный векторами  $(V_4, V_6)$  порядок следования базовых векторов следующий:

$$(V_0 \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_7 \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_0) \Rightarrow (V_0 \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_7 \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_0)$$

В секторе  $(V_4, V_6)$  имеют 6 переключений:  $(V_0 \Rightarrow V_4)$ ,  $(V_4 \Rightarrow V_6)$ ,  $(V_6 \Rightarrow V_7)$ ,  $(V_7 \Rightarrow V_6)$ ,  $(V_6 \Rightarrow V_4)$ ,  $(V_4 \Rightarrow V_0)$ . В [9, 12] было показано, что все эти переключения приводят к возникновению сквозного тока и для исключения сквозного тока в переходах  $(V_4 \Rightarrow V_6)$ ,  $(V_6 \Rightarrow V_4)$  предположено использовать дополнительные промежуточные векторы  $V_{41}, V_{42}, V_{21}, V_{24}, V_{12}, V_{14}$ .

Состояния ключей для формирования дополнительных определенных векторов

Состояние ключей $S_1 S_3 S_5$ $S_2 S_4 S_6$	Схема нагрузки	Направление тока	Магнитные векторы	Фазные напряжения		
				$U_a$	$U_b$	$U_c$
0 0 1 0 1 0				0	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{2}U_{dc}$
0 0 1 1 0 0				$-\frac{1}{2}U_{dc}$	0	$\frac{1}{2}U_{dc}$
0 1 0 0 0 1				0	$\frac{1}{2}U_{dc}$	$-\frac{1}{2}U_{dc}$
0 1 0 1 0 0				$-\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{2}U_{dc}$	0
1 0 0 0 0 1				$\frac{1}{2}U_{dc}$	0	$-\frac{1}{2}U_{dc}$

$\begin{matrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix}$				$\frac{1}{2}U_{dc}$	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	$0$
--	---	---	--	---------------------	----------------------	-----

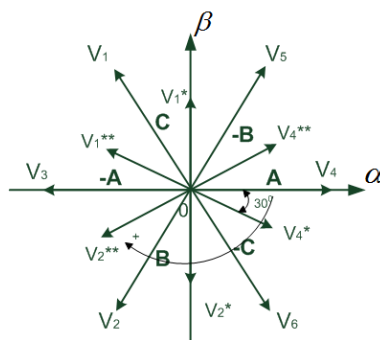


Рис. 2 Результирующие векторы в неподвижной системе координат

Для регулирования частоты вращения вала АД предложен перспективный алгоритм с следующим порядком следования базовых векторов при формировании любого вектора напряжения в секторах (V4, V6), (V6, V2), (V2, V3), (V3, V1), (V1, V5), (V5, V4) будет:

- +  $V_0 \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_{41} \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_{41} \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_0$ ;
- +  $V_0 \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_{21} \Rightarrow V_2 \Rightarrow V_{21} \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_0$ ;
- +  $V_0 \Rightarrow V_2 \Rightarrow V_{24} \Rightarrow V_3 \Rightarrow V_{24} \Rightarrow V_2 \Rightarrow V_0$ ;
- +  $V_0 \Rightarrow V_3 \Rightarrow V_{14} \Rightarrow V_1 \Rightarrow V_{14} \Rightarrow V_3 \Rightarrow V_0$ ;
- +  $V_0 \Rightarrow V_1 \Rightarrow V_{12} \Rightarrow V_5 \Rightarrow V_{12} \Rightarrow V_1 \Rightarrow V_0$ ;
- +  $V_0 \Rightarrow V_5 \Rightarrow V_{42} \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_{42} \Rightarrow V_5 \Rightarrow V_0$ .

Так длительность существования промежуточных векторов крайне малпо сравнению с базовыми векторами, и их влиянием на направление и модуль формируемых векторов можно пренебречь. Соответствующая временная диаграмма переключения силовых ключей при формировании вектора в секторе (V4, V6) дана на рис.3. В остальных секторах формирование будет аналогичным.

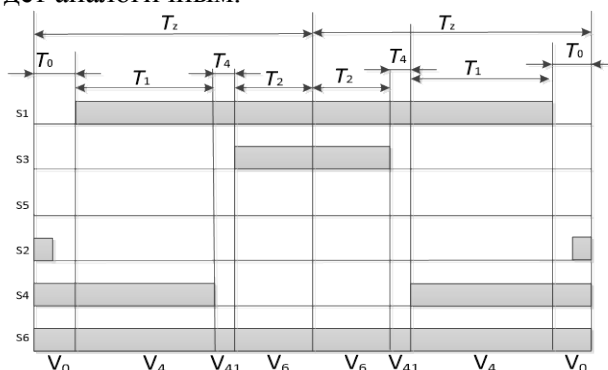


Рис.3 Временная диаграмма переключения силовых ключей при формировании вектора в секторе (V4, V6)

Для регулирования частоты вращения вала АД приводим по закону, например  $\frac{U}{f} = const$ . При уменьшения амплитуды колебания тока статора, скорости ротора и момента АД количество формируемых векторов в каждом секторе как правило велико. Число формируемых векторов в секторе будем обозначать  $n$ . Например формирование трех векторов в секторе ( $V_4, V_6$ ) то  $n = 3$ , который приведен на рис. 4. Для исследования влияния параметра  $n$  на качество электропривода асинхронного двигателя в режиме векторной ШИМ используем имитационную программированную модель на Matlab, которая приведена на рис. 5.

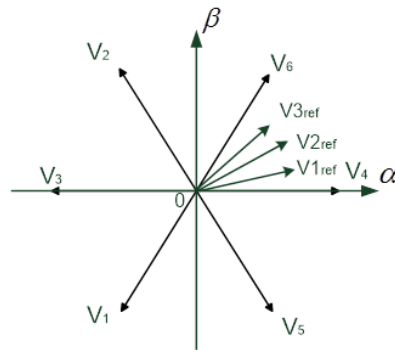


Рис. 4 Формирование трех векторов

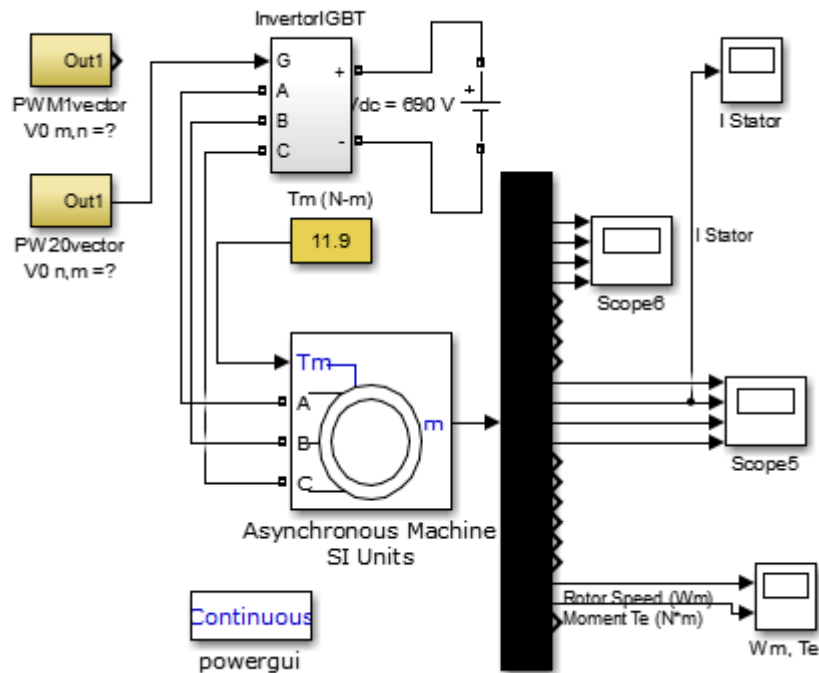


Рис. 5 Схема модели управления асинхронным двигателем в режиме векторной ШИМ в Matlab Simulink

Где:

- блок: PWM1vector – Блок программирования формирования одного вектора в каждом секторе;
- блок PW20vector – Блок программирования формирования 20 векторов в каждом секторе;

Результаты моделирования сведены в табл.2, 3.

Таблица 2

Результатов оценивания качества электропривода при  $n = 1$  и частоты работы двигателя изменяются 60, 50, 15, 5, 1:

f		60	15	5	1
$n = 1$	$\omega$ , (rad)	187, 0.01	46, 15	15, 48	2.46, 7.54
	$\Delta M$ (Н.м)	12	258	259	97
	$\Delta I$ (А)	15.8	51.8	89.9	17

Таблица 3

Результатов оценивания качества электропривода при  $n = 20$  и частоты работы двигателя изменяются 60, 50, 15, 5, 1:

f		60	15	5	1
$n = 20$	$\omega$ , (rad)	187, 0	46, 0.4	15, 1.1	2.46, 1.04
	$\Delta M$ (Н.м)	6	17	19	28
	$\Delta I$ (А)	0.625	1.84	2.6	4.5

Где:  $\Delta\omega = \omega_{SPW} - \omega_{Sin}$ ,  $\Delta M = M_{SPW} - M_{Sin}$ ,  $\Delta I = I_{SPW} - I_{Sin}$

В качестве примера приведены графики при  $f = 3, n = 20$ , рис. 6, 7.

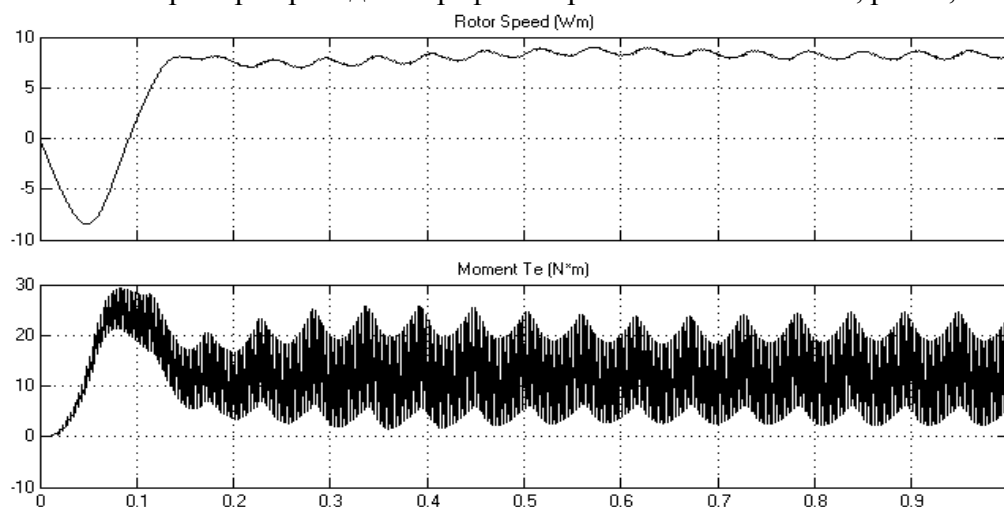


Рис. 6 Скорость ротора и электромагнитный момент двигателя при  $f = 3, n = 20$

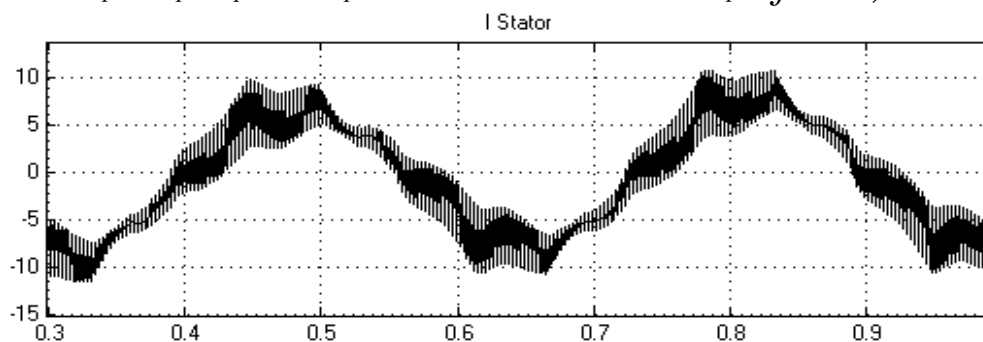


Рис. 7 Ток статора двигателя при  $f = 3, n = 20$

### Вывод

Результаты моделирования регулирования частоты вращения показывают что колебание скорости, тока статора, электромагнитного момента двигателя уменьшится при большем количестве формируемых векторов в каждом секторе чем при традиционном. Таким образом, использование векторной ШИМ по предложенному алгоритму при времени существования промежуточных векторов существенно меньше относительно времени существования базовых векторов позволяет не только обеспечить все хорошие характеристики традиционного способа векторной ШИМ, но и устранить многие недостатки традиционного способа.

### Список используемых источников информации

1. Чаплыгин Е.Е., Хухтиков С.В. Способ управления автономным инвертором напряжения с векторной ШИМ. // Практическая силовая электроника. 2010. №. 39, с. 40-43.
2. Ogasawa S., Akagi H., and Nabae A. A Novel PWM Scheme of Voltage Source Inverter Based on Space Vector Theory. // European Power Electronics Conference, Aachen, Germany, Oct. 1989, pp. 1197-1202.
3. Машуков Е.В., Шевцов Д. А., Ульященко Г. М. Централизованные транзисторные преобразователи электроэнергии для систем электроснабжения летательных аппаратов/под ред. Е.В. Машукова. – М. Изд-во МАИ, 2013. - 183 с.
4. Попов Б.Н. Методы проектирования микропроцессорных устройств управления мехатронными модулями систем приводов: Дис. ... докт. техн. наук –М.: Изд-во МАИ, 2001. – 481 с.
5. Фам Туан Тхань. Разработка и исследование алгоритмов управления системой "Импульсный усилитель мощности - асинхронный двухфазный двигатель": Дис. ... канд. техн. наук –М.:Издательство МАИ, 2005. - 188 с.
6. Попов Б.Н., Фам Туан Тхань. Устройства управления электродвигателями на платформе программируемой логики // Электронные компоненты. - 2005.- №2. С. 69-76.
7. Попов Б.Н., Фам Туан Тхань. Логические автоматы управления электродвигателями на платформе программируемой логики // Труды МАИ. -2005.-№18. URL:
8. <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=34193>
9. Попов Б.Н. Анализ и синтез законов управления системой «Импульсный усилитель мощности - электродвигатель» // Известия академии наук. Теория и системы управления, 1996, №3. С. 163-170.
10. Ле Д.Т., Аверин С.В. Оптимизация алгоритмов коммутации в инверторах с векторной ШИМ // Вестник Московского авиационного института – 2016. Т.23. №3. С. 155-164.
11. Ле Д.Т. Использование карты Карно для оптимизации импульсного усилителя мощности асинхронного двигателя в режиме векторной широтно-импульсной модуляции // 14-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»: Сборник -2015 - с.182-183.
12. Ле Д.Т. Способ формирования напряжения векторной ШИМ для управления асинхронным двигателем // XLII Международная молодежная конференция «Гагаринские чтения», Сборник тезисов докладов ТОМ1 – 2016 - с.670-671.
13. Ле Д.Т., Аверин С.В. Формирование векторной широтно-импульсной модуляции с исключением сквозных токов в трехфазном мостовом инверторе // Вестник Московского авиационного института – 2016. Т.23. №4. С. 155-163.

**Литвиненкова З.Н., Осюк Е.А.**

### **Влияние на прочность местной потери устойчивости в зоне трещины-разреза в тонкой растянутой пластине**

*Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации  
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/lj-28-02-2017-1-08

idsp: 000001:lj-28-02-2017-1-08

### Аннотация

В конструкциях большинства летательных аппаратов есть тонкостенные элементы (обшивка самолета) с технологическими и эксплуатационными дефектами типа остроконечных надразов, трещин и иных концентраторов напряжений.

Принцип безопасного повреждения, применяемый в наше время наряду с принципом безопасного ресурса, допускает наличие подобных дефектов, но ставит задачу перед конструкторами учитывать их влияние на разрушающую нагрузку при расчете прочностного ресурса воздушного судна.

В работе дается уточненное решение задачи о растянутой нормальными напряжениями пластине с трещиной–разрезом с учетом депланации (выпучивания) в зоне трещины. При расчете напряженно-деформированного состояния используются соотношения двумерной теории упругости в комплексной форме. Для оценки влияния выпучивания пластины на ее прочность применяется обобщенный метод Бубнова-Галеркина и энергетический подход Гриффитса.

Установлено, что в момент потери устойчивости предельная нагрузка резко снижается (на 25%), а при дальнейшем росте зоны выпучивания меняется незначительно. Этот эффект существенно сказывается на прочности пластинчатых элементов конструкций летательных аппаратов и должен учитываться на этапе проектирования конструкций.

**Ключевые слова:** прочность, обшивка самолета, пластина, трещина-разрез, концентрация напряжений, выпучивание (депланация), разрушающая нагрузка, безопасное повреждение.

#### **Abstract**

The paper gives a refined solution of the problem concerning extended by the normal strain plate that has a crack – cut with consideration of warping (buckling) in the crack zone. When calculating strain-deformed state the ratio of the two-dimensional theory of elasticity is used. To evaluate the influence of buckling of the plate on its strength the generalized method of Bubnov-Galerkin and Griffith energy approach is applied.

**Keywords:** strength, aircraft covering, plate, crack - the cut, the concentration of stress, buckling (warping), breaking load, safe damage.

#### **Введение**

Современная обшивка самолетов состоит из панелей или отдельных листов из алюминиевых сплавов (или титана и нержавеющей стали), отформованных по поверхности крыльев или фюзеляжа. В наше время в основном применяется жесткая металлическая обшивка. Она воспринимает нагрузки в виде крутящих и изгибающих моментов, внешние аэродинамические нагрузки и нагрузки перерезывающих сил, действующих на каркас самолета. Для производства работающей обшивки применяют титановые, алюминиевые и стальные сплавы, композиционные материалы. В конструкциях сверхзвуковых самолетов чаще всего встречаются титан и сталь.

При обеспечении безопасности полетов на современном этапе наряду с принципом «безопасного ресурса» используется также принцип «безопасного повреждения» [1], который предусматривает наличие в элементах конструкций начальных металлургических и технологических дефектов и образование в них трещин по мере накопления эксплуатационных повреждений.

Опыт эксплуатации и ремонта летательных аппаратов показывает, что задолго до разрушения всей конструкции появляются дефекты ее элементов, такие как трещины обшивки, местная потеря устойчивости обшивки (выпучивание), выпадение заклепок и т.д.

Понятие «безопасных повреждений» относится к конструкции, спроектированной таким образом, чтобы минимизировать возможность выхода летательного аппарата из строя из-за распространения невыявленных дефектов- трещин или других повреждений.

Таким образом, прочностной ресурс воздушного судна следует определять на основе критерия прочности, учитывающего наличие дефектов в материале конструкции и развитие трещин, которые не приводили бы к катастрофическому исходу.

Определение напряженно-деформированного состояния элементов конструкций, содержащих концентраторы напряжений типа трещин, является наиболее ответственным и сложным этапом расчета на прочность. Известно, что напряженно-деформированное состояние тела с трещиной полностью характеризуется величиной коэффициента интенсивности напряжений (КИН). На понятии КИН основаны практически все известные в настоящее время критерии хрупкого и квази-хрупкого разрушения, а также зависимости, описывающие рост усталостных трещин. Кроме того, рост трещины в тонколистовом материале сопровождается локальным выпучиванием в зоне трещины, оказывающем влияние на процесс разрушения [2, 3, 4].

В этой связи актуальным представляется изучение распределения напряжений в окрестности одиночных дефектов в пластинах с использованием разрешающих уравнений уточненных классических теорий и последующее построение критериев предельного равновесия с позиций теории разрушения.

**Постановка и решение задачи**

В данной работе в качестве базовой рассматривается задача о растяжении плоскости с прямолинейной трещиной – разрезом длиной  $2a$

$$\begin{aligned} -a \leq x_1^0 \leq a \\ x_2^0 \geq 0, \end{aligned}$$

с берегами, свободными от напряжений.

При введении локальной полярной системы координат с полюсом в конце разреза  $\rho, \varphi$ , получена стандартная асимптотика напряжений и смещений (для напряжений – корневая особенность  $\sqrt{a/(2\rho)}$ ).

Подробно анализируется явление локальной потери устойчивости частей пластины, примыкающих к разрезу.

Местное выпучивание возникает в растянутой нормальными напряжениями  $\sigma_y^\infty = P$  пластине в связи с наличием зоны сжимающих напряжений в области трещины, величина которых устанавливается при исследовании докритического состояния пластины по методу Вестергард.

Уравнения Вестергард имеют вид [5]:

$$\begin{cases} \sigma_{11} = \operatorname{Re} Z - y \operatorname{Im} Z' \\ \sigma_{22} = \operatorname{Re} Z + y \operatorname{Im} Z' \\ \tau_{12} = -y \operatorname{Re} Z' \end{cases} \quad (1)$$

где

$$Z = \frac{Pz}{\sqrt{z^2 - a^2}}, \quad z = x_1^0 + ix_2^0$$

Отметим, что функция Вестергард  $Z$  связана с комплексными потенциалами Колосова-Мусхелишвили [6] следующим образом:

$$\Phi(z) = \frac{1}{2}Z, \quad \Psi(z) = -\frac{1}{2}zZ'$$

Докритические напряжения в растянутой пластине с разрезом определяются по формулам:

$$\begin{cases} \sigma_\zeta^0 = \frac{\rho^0}{\sqrt{r^0}} \cos\left(\varphi^0 - \frac{\psi^0}{2}\right) - \frac{\eta}{\sqrt{(r^0)^3}} \sin^3 \frac{3}{2} \psi^0 - 1 \\ \sigma_\eta^0 = \frac{\rho^0}{\sqrt{r^0}} \cos\left(\varphi^0 - \frac{\psi^0}{2}\right) + \frac{\eta}{\sqrt{(r^0)^3}} \sin^3 \frac{3}{2} \psi^0 \\ \tau_{\zeta\eta}^0 = \frac{\eta}{\sqrt{(r^0)^3}} \cos^3 \frac{3}{2} \psi^0 \end{cases} \quad (2)$$

Здесь

$$\zeta = \frac{x_1^0}{a}; \quad \eta = \frac{x_2^0}{a}; \quad \rho^0 = \sqrt{\zeta^2 + \eta^2};$$

$$r^0 = \sqrt{(\zeta^2 - \eta^2 - 1)^2 + 4\zeta^2\eta^2}; \quad \varphi^0 = \operatorname{arctg} \frac{\pi}{\zeta}$$

$$\psi^0 = \begin{cases} \operatorname{arctg} \frac{2\zeta\eta}{\zeta^2 - \eta^2 - 1} + \pi, & \zeta < 1 \\ \operatorname{arctg} \frac{2\zeta\eta}{\zeta^2 - \eta^2 - 1}, & \zeta \geq 1 \end{cases}$$

$$\sigma_\zeta^0 = \frac{\sigma_{11}}{P}; \quad \sigma_\eta^0 = \frac{\sigma_{22}}{P}; \quad \tau_{\zeta\eta}^0 = \frac{\tau_{12}}{P}$$

Напряжения  $\sigma_{\zeta}^0$ ,  $\sigma_{\eta}^0$ ,  $\tau_{\zeta\eta}^0$  были подсчитаны на ЭВМ на прямых  $x = \pm a$  при различных значениях  $\eta$  от 0,01 до 2,5. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что сжимающие напряжения на кромках  $x = \pm a$  максимальны при  $0 \leq \eta < 0,5$  и близки к 0 при  $\eta \geq 1,1$ .

Критические (эйлеровы) напряжения определяются из дифференциального уравнения задачи:

$$D\nabla^4\omega - Pha^2 \left( \sigma_{\zeta}^0 \frac{\partial^2 \tilde{\omega}}{\partial \zeta^2} + \sigma_{\eta}^0 \frac{\partial^2 \varpi}{\partial \eta^2} + 2\tau_{\zeta\eta}^0 \frac{\partial^2 \varpi}{\partial \zeta \partial \eta} \right) = 0 \quad (3)$$

Здесь

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)},$$

$h$  – толщина пластины.

Зона локального выпучивания моделируется полосой шириной  $2a$ , нагруженной по длинным кромкам напряжениями, полученными по формулам (2).

На длинных кромках полосы приняты условия упругого защемления с коэффициентом упругой заделки  $\beta$ . Это связано с тем, что при небольшом прогибе пластина (полоса) работает в условиях жесткого защемления длинных сторон ее контура, а при прогибе, соизмеримом с толщиной пластины, ее края можно считать с достаточной степенью точности шарнирно опертыми.

В дальнейшем проводится численный эксперимент для двух крайних случаев:

а) жесткой заделки (при  $\beta = \infty$ );

б) шарнирного опирания (при  $\beta = 0$ )

краев полосы, то есть при  $\zeta = \pm 1$  выполняются граничные условия:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{а) } \tilde{\omega} = 0, \quad \frac{\partial \omega}{\partial \zeta} = 0 \text{ при } \zeta = \pm 1 \\ \text{б) } \tilde{\omega} = 0, \quad \frac{\partial^2 \omega}{\partial \eta^2} + \nu \frac{\partial^2 \varpi}{\partial \zeta^2} = 0 \text{ при } \zeta = \pm 1 \end{array} \right. \quad (4)$$

При  $\eta = 0$  (берег трещины – разреза) граничные условия таковы:

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial \eta^2} + \nu \frac{\partial^2 \omega}{\partial \zeta^2} = 0, \quad \frac{\partial^3 \omega}{\partial \eta^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 \omega}{\partial \eta \partial \zeta^2} = 0$$

При  $\eta \rightarrow \infty$ ,  $\tilde{\omega} \rightarrow 0$

Краевая задача (3) –(4) решается вариационным методом (обобщенный метод Бубнова-Галеркина) [7].

$$\int_{-1}^1 \int_0^{\infty} \left\{ \nabla^4 \omega - \lambda \left[ \sigma_{\zeta}^0 \frac{\partial^2 \tilde{\omega}}{\partial \zeta^2} + \sigma_{\eta}^0 \frac{\partial^2 \varpi}{\partial \eta^2} + 2\tau_{\zeta\eta}^0 \frac{\partial^2 \varpi}{\partial \zeta \partial \eta} \right] \right\} \delta \omega d\zeta d\eta -$$

$$- \int_{-1}^1 \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial \eta^2} + \nu \frac{\partial^2 \omega}{\partial \zeta^2} \right) \cdot \frac{\partial}{\partial \eta} \delta \omega d\zeta \Big|_{\eta=0} - \int_{-1}^1 \left[ \frac{\partial^3 \omega}{\partial \eta^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 \omega}{\partial \eta \partial \zeta^2} \right] \delta \omega d\zeta \Big|_{\eta=0} = 0 \quad (5)$$

Здесь

$$\lambda = \frac{Pha^2}{D} \quad (6)$$

Форма выпученной поверхности задается в виде:

$$\omega(\zeta, \eta) = \sum_{m=2}^p \sum_{n=1}^q A_{mn} \omega_{mn} \quad (7)$$

где  $\omega_{mn} = \cos^m \frac{\pi \zeta}{2} e^{-n\eta}$

Подставляя (7) в (5), получим квадратичную форму от параметров  $A_{mn}$ . Минимизируя ее, находим  $r$  значений параметра  $\lambda$ , наименьшее из которых позволяет определить из выражения (6) критическое значение растягивающей нагрузки.

$$P_{кр} = \frac{D\lambda_{min}}{ha^2} = K \frac{\pi^2 D}{a^2 h} = K_1 E \left(\frac{h}{a}\right)^2 \quad (8)$$

Численная реализация указанного метода осуществляется на ЭВМ. Были получены следующие значения коэффициента  $K_1$  в формуле (8):

$$1,08 \leq K_1 \leq 1,2$$

При сравнении полученной в соответствии с формулой (8) зависимости критической нагрузки от толщины для образцов из стали и из алюминиевых сплавов с экспериментальными данными усматривается их хорошее согласование.

Потеря устойчивости плоской пластины приводит к изменению напряженного состояния у вершины трещины и следовательно, влияет на процесс разрушения.

Далее в работе оценивается прочность пластины с выпучиванием в зоне трещины. При этом предполагается, что линии главных напряжений обтекают выпученную область таким же образом, как если бы на ее месте в пластине имелось сквозное эллиптическое отверстие с полуосями  $\max|x| = a$  и  $\max|y| = b$ ,  $b = 1,1a$ .

Основное уравнение теории Гриффитса имеет вид [8]:

$$\frac{\partial}{\partial a} [T(a) - W(a, b, P) = 0],$$

где  $T(a) = 4\gamma_0 a$  – поверхностная энергия трещины,

$\gamma_0$  – плотность поверхностной энергии материала,

$W(a, b, P)$  – энергия упругого деформирования, обусловленная раскрытием трещины и увеличением протяженности выпученной зоны при возрастании напряжений  $P$ .

Для  $W(a, b, P)$  имеем:

$$W(a, b, P) = \frac{\pi P^2}{2E} (2a^2 + ab)$$

Подставляя выражения для  $T$  и  $W$  в уравнение Гриффитса, находим разрушающую нагрузку  $P^*$  (с учетом выпучивания).

$$P^* = \sqrt{\frac{8\gamma E}{\pi(4a + b)}}$$

Обозначим разрушающую нагрузку невыпученной пластины с трещиной через  $P_0^*$ . Эта величина может быть получена по формуле для  $P^*$  при  $b = 0$

$$P_0^* = \sqrt{\frac{2\gamma E}{\pi a}}$$

которая совпадает с известной формулой Ирвина.

Рассмотрим отношение

$$\zeta = \frac{P^*}{P_0^*} = \frac{2}{\sqrt{4 + b/a}}$$

Предположим, что нагрузка, приложенная к бесконечной пластине, превышает критическую:

$$P = KE \left(\frac{h}{a}\right)^2,$$

где  $K > 1,08$ .

Оценим влияние выпучивания на разрушающую нагрузку, установив зависимость параметра  $\zeta$  от коэффициента внешней нагрузки  $K$ :

$$\zeta = f(K)$$

Анализ этой зависимости приводит к выводу, что в момент потери устойчивости предельная нагрузка резко падает  $\approx$  на 25%, а при дальнейшем росте зоны выпучивания меняется незначительно.

#### **Заключение**

Полученный в работе результат свидетельствует о том, что деформация пластинчатых элементов конструкций летательных аппаратов в зоне трещины приводит к понижению разрушающей нагрузки на 20-25%. Этот фактор должен приниматься во внимание конструкторами для обеспечения безопасности полетов.

#### Список используемых источников информации

1. Нестеренко Г.И. Требования по усталости и живучести конструкций гражданских самолетов.// Научный вестник МГТУГА № 163, 2011
2. Гольцев В.Ю. и др. Заводская лаборатория № 1, 1961
3. Литвиненкова З.Н. Об устойчивости растянутой пластины с внутренней трещиной.// Известия АН СССР, Механика твердого тела № 5, 1973
4. Литвиненкова З.Н. Разрушающая нагрузка растянутых плоских элементов конструкций самолета (обшивки) у мест выточек.// Вестник СПбГУГА, выпуск 2, 2011
5. Вестергард Г.М. Несущие давления и трещины.// Журнал прикладной механики, том 6, с. А 49-53, 1939
6. Мухелишвили И.Н. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М., «Наука», 1966.
7. Галеркин Б.Г. Собрание сочинений. Т. 1.// Изд-во АН СССР, 1952
8. Griffith A.A. The theory of rupture.// Proc. First. Inter. Congress Appl. Mech. Delft., p. 55-63, 1924

**Маслов Л.Н., Маслов М.Л., Сунцов Е.В.**

#### **Технология высокотемпературной упрочняюще-калибрующей термомеханической обработки – резерв снижения трудоемкости изготовления изделий отечественного машиностроения**

*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова  
(Россия, Ижевск)*

*doi: 10.18411/lj-28-02-2017-1-09*

*idsp: 000001:lj-28-02-2017-1-09*

Технология термомеханического упрочнения как метод повышения механических свойств металлопродукции и эксплуатационных характеристик различных тяжело нагруженных деталей машин достаточно известна [1,2]. Однако, промышленное использование стальной металлопродукции после термомеханической обработки (ТМО) для изготовления деталей машин ограничено в связи со сложностями обработки резанием стали в высокопрочном состоянии из-за высокой твердости. Поэтому большое внимание в ряде работ последних десятилетий в области ТМО уделяется повышению точностных характеристик упрочненной с применением этого метода металлопродукции и выпуска ее в виде проволоки и калиброванной стали, позволяющих при изготовлении ряда деталей минимизировать или, для деталей простой геометрической формы, полностью исключить обработку резанием и, только в качестве финишных операций, применять абразивную обработку.

Другим вариантом снижения объема дополнительной обработки резанием и одновременного повышения эксплуатационной надежности изделий машиностроения является «встраивание» в базовый технологический процесс изготовления детали операций термомеханического упрочнения и калибровки необходимых поверхностей. Другими словами, задача для осуществления этого варианта состоит в создании технологии и оборудования для производства высокоточных упрочненных заготовок деталей машин конкретного назначения с учетом условий их эксплуатации [3,4].

В Ижевском государственном техническом университете имени М.Т. Калашникова разработаны технология и оборудование для производства калиброванной проволоки и калиброванной стали с применением высокотемпературной упрочняюще-калибрующей термомеханической обработки (ВУК ТМО). Схемы установок для осуществления этого процесса приведены на рисунках 1 и 2.

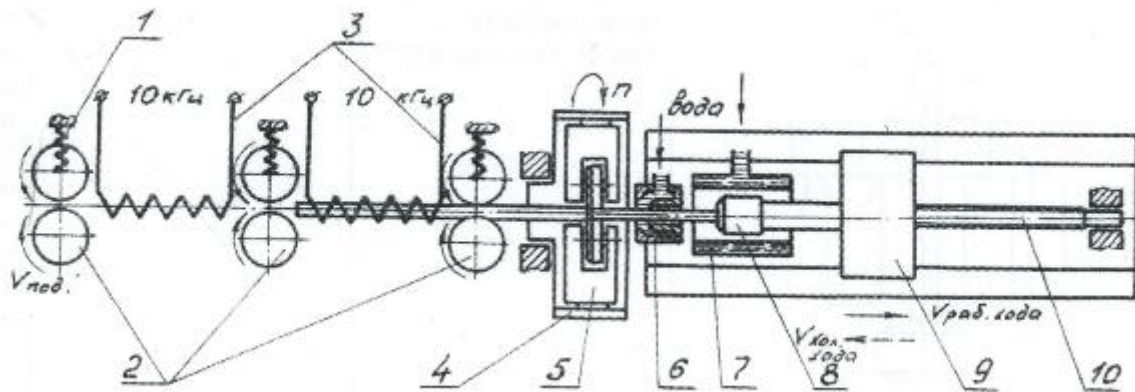


Рисунок 2. Схема опытно-промышленной установки для производства калиброванной стали с применением ВУК ТМО:  
 1 – пружина; 2 – задающие ролики; 3 – индукторы нагрева; 4 – планшайба; 5 – роликовые головки; 6 – форсунка; 7 – спрейер; 8 – захват; 9 – тележка; 10 – ходовой винт.

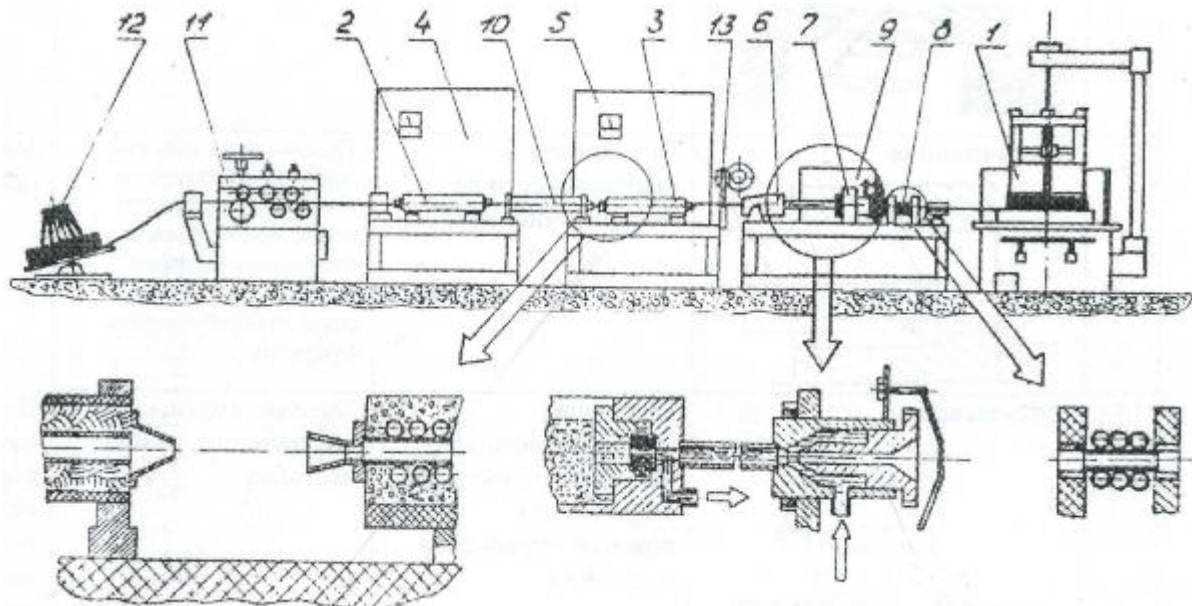


Рисунок 3. Схема установки для осуществления процесса ВУК ТМО проволоки с деформацией в фильтре:  
 1 – волочильный барабан; 2,3 – индукторы 1-й и 2-й ступеней нагрева; 4,5 – установки ТВЧ; 6,7 – узлы деформации и охлаждения; 8 – индуктор отпуска; 10 – термостат; 11 – правильное устройство.

Технологическими параметрами ВУК ТМО, позволяющими в зависимости от назначения деталей и применяемой схемы формировать свойства упрочненного металла с широким диапазоном значений, являются: индукционный нагрев выше АС3 под деформацию, деформация с управляемой степенью, отпуск, последующий после ВУК ТМО в диапазоне 200 – 4000С в зависимости от технологии изготовления конкретной детали. Работами последних лет [5] показано, что определенным сочетанием указанных технологических параметров из всего диапазона ВУК ТМО в обрабатываемом материале возможно достижение наивысшего (из известных в настоящее время) эффекта упрочнения в стали за счет формирования наноразмерной структуры. Такое оптимальное сочетание температурно-деформационных параметров обработки, позволяющее формировать в заготовке под детали наноразмерной структуры при одновременном обеспечении заданных точностных характеристик металлопродукции, управляемо осуществимо на оборудовании, разработанном по указанным на рисунках 1 и 2 схемах.

Другим достоинством разработанной схемы обработки является возможность управления на установках подобного типа широким диапазоном температурно-

деформационных параметров, позволяющих использовать это оборудование не только в режиме термомодеформационного упрочнения, но и для производства высокоточных заготовок в виде калиброванных прутков, проволоки без упрочнения материала.

Иное конструктивное оформление термомодеформационных и других силовых агрегатов по указанной технологической схеме позволяет производить длинномерные заготовки типа труб, периодического профиля, зубчатых колес с калибровкой профиля в процессе деформации и др. Такие заготовки позволяют производить из них детали по укороченной схеме механической обработки. Организация производства таких заготовок с учетом необходимой программы выпуска возможно осуществить как в калибровочных цехах металлургических, так и в заготовительных цехах машиностроительных предприятий.

Предлагаемая схема производства большого диапазона деталей изделий машиностроения позволяет значительно снизить энергозатраты на производство 1 т изделий машиностроения и суммарную трудоемкость их изготовления и, следовательно, существенно повышает производительность при изготовлении большой номенклатуры изделий.

Следует отметить, что такая технологическая схема производства деталей, суммарно решающая общую задачу металлургов и машиностроителей по снижению себестоимости изготовления изделий машиностроения, не известна в мировой практике.

В качестве примера, показывающего, что применением ВУК ТМО в технологии изготовления деталей можно не только повысить характеристики работоспособности, но и значительно упростить технологический цикл изготовления деталей на машиностроительном предприятии, приведены результаты исследований по применению упрочненной ВУК ТМО заготовки для изготовления пальцев траков гусеничной машины, работающих в условиях абразивного изнашивания.

Анализ конструкции и технологии изготовления пальцев траков показывает, что все они достаточно просты по конструкции и это позволяет использовать для их изготовления прутковую заготовку со свойствами, предъявляемыми к материалу готовой детали.

На рисунке 3 приведен чертеж пальцев, широко применяемых в гусеничных машинах для сборки гусеничной ленты. Технология их изготовления однотипна и включает следующие операции (рисунок 4а):

1. Рубка прутков на прессе на мерные заготовки;
2. Загрузка заготовками контейнера и подача их в электровысадочный автомат типа АЭ – 5Ш АНИТИМ;
3. Нагрев конца заготовки (длиной до 10 мм) в электролите до температуры 1150 – 11800С. Время прохождения через электролит до высадки головки 12 – 15 с.;
4. Высадка головки и автоматический выброс пальца с головкой в контейнер;
5. Токарная обработка утолщения прутка под высаженной головкой;
6. Термическая обработка:
  - Закалка пальцев в масле с температуры нагрева 900±100С;
  - Отпуск пальцев при T = 450 – 5000С;
  - Рихтовка пальцев;
  - Контроль твердости;
7. Отпуск второго конца пальца (нагрев ТВЧ на длину 12 – 20 мм при T = 600 – 6500С в течение 5 – 7 с.);
8. Рассверловка конца пальца под развальцовку.

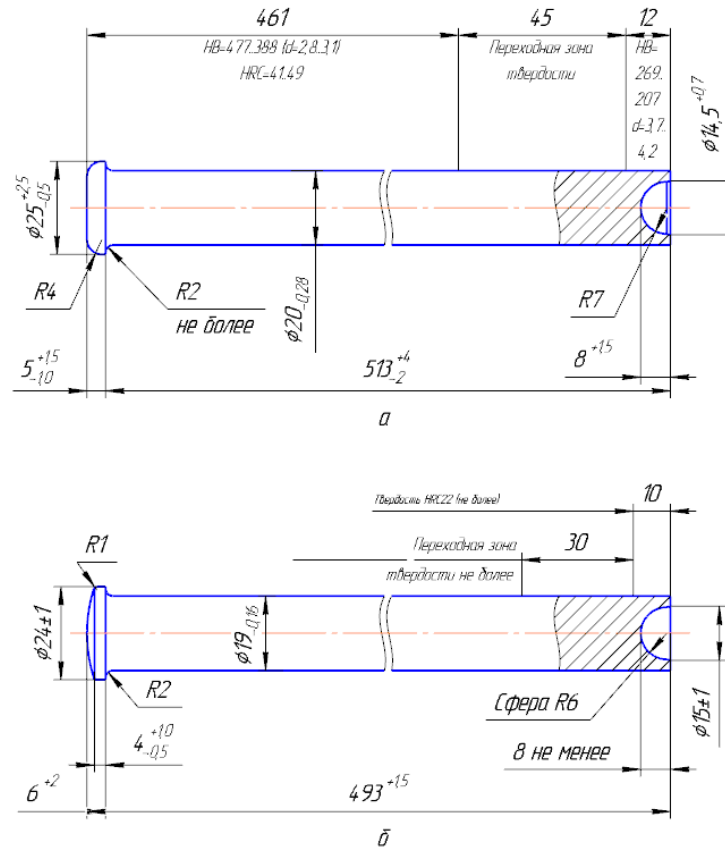


Рисунок 3. Характерные требования, предъявляемые к пальцам гусеницы

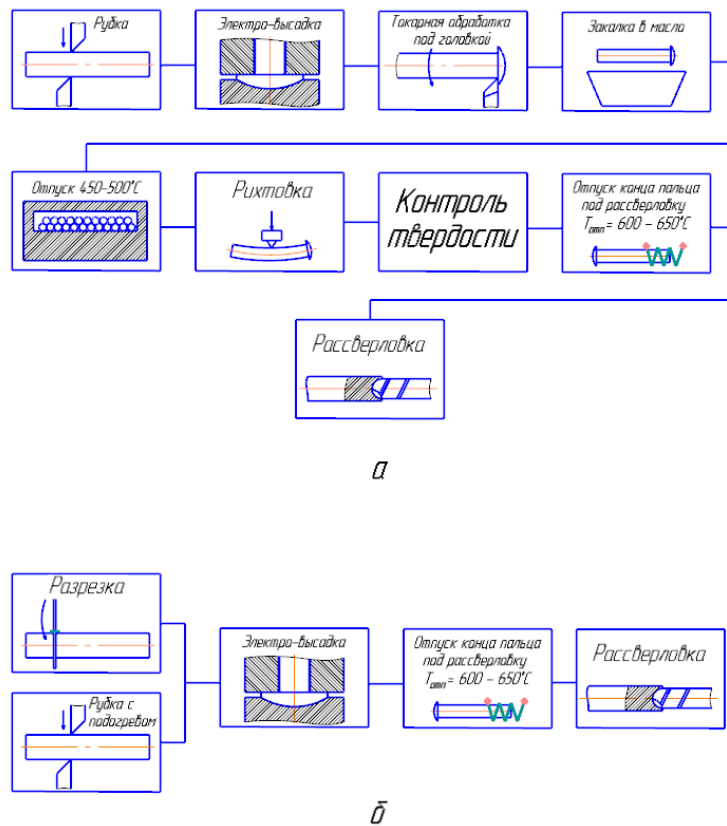


Рисунок 4. Технологические схемы изготовления пальцев по серийной технологии из калиброванного проката по ГОСТ 4543-71 (а) и по разработанной технологии с применением упрочненной ВУК ТМО заготовки (б).

Особенности заготовок после ВУК ТМО, заключающиеся в их поставке со свойствами, отвечающими по механическим и геометрическим характеристикам требованиям технических условий, предъявляемым к готовому пальцу, позволяют изменить существующую технологию (рисунок 4б):

- В связи с высокой твердостью заготовок после ВУК ТМО вводится разрезка прутков по длине на мерные заготовки вулканитовым кругом, либо рубка с применением местного индукционного подогрева участка, подлежащего разрезке;
- Так как при нагреве с высокой скоростью металл после ВУК ТМО обладает повышенной стойкостью против разупрочнения, то при высадке головки из упрочненной заготовки утолщения стержня пальца не наблюдается, в связи с чем операция токарной обработки по снятию наплыва металла под головкой – исключается;
- Из технологического процесса полностью исключается термическая обработка (закалка, отпуск) и рихтовка пальцев;
- В связи с торможением процессов разупрочнения при отпуске металла после ВУК ТМО температура индукционного нагрева пальца под рассверловку повышается до 700 – 750С с выдержкой 5-7 с.

Исследовалась твердость по длине пальца со стороны высаженной головки и с противоположного, отпущенного и рассверленного конца.

Отпущенная зона пальца со стороны головки со структурой троостосорбита составляет 11 мм (рисунок 5), а общая длина отпущенного стержня до зоны с твердостью металла в состоянии поставки равна 30 – 34 мм. При исследовании изменения твердости после высадки головки с нагревом его в электролите отмечено также, что вследствие хорошего контакта материала пальца с охлаждаемым штампом происходит частичная подзакалка головки до твердости 47 – 48 HRC (рисунок 5а). Противоположный конец пальца, отпущенный ТВЧ под рассверловку и развальцовку (рисунок 5б) имеет одинаковую с серийными пальцами твердость и распределение ее по длине, обеспечивая технические требования: твердость на длине 10 мм от торца пальца не выше HB 269 – 207 и длину переходной зоны от этого участка с твердостью основного металла пальца не более 30 мм. Это условие обеспечивается повышением температуры отпуска конца пальца на 50 – 700С по сравнению с серийным режимом.

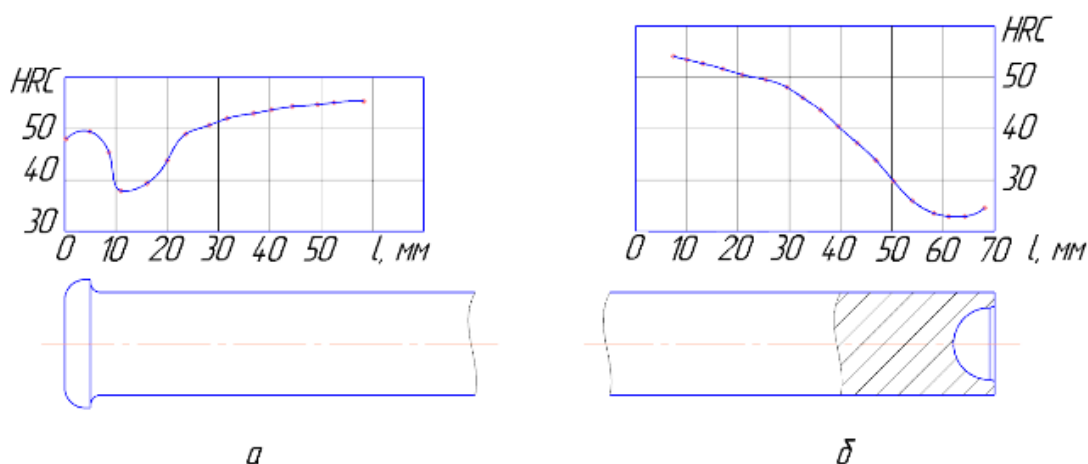


Рисунок 5. Твердость пальца  
 а – после высадки головки из заготовки, упрочненной ВУК ТМО;  
 б – после отпуска ТВЧ под развальцовку.

Проведенная работа по разработке технологии изготовления пальцев из упрочненной ВУК ТМО заготовки и исследование их качества показали возможность промышленного изготовления таких пальцев с изменением, заключающемся в

сокращении технологического цикла изготовления пальцев за счет формирования в заготовке свойств по геометрическим и механическим характеристикам на уровне конструкторских требований к пальцу. Применение калиброванной упрочненной методом ВУК ТМО заготовки пальцев траков гусеничной ленты позволяет [6]: сократить технологический цикл изготовления пальцев за счет исключения операций термической, механической обработки и правки на заводе-изготовителе, повысить твердость и пластичность материала, что обеспечивает увеличение износостойкости в 1,6 – 1,9 раза и долговечности пальцев в 7 – 9 раз (при одинаковом с серийными пальцами уровне рабочих напряжений).

Таким образом, из всех применяемых методов технологического повышения характеристик работоспособности абразивно-изнашиваемых деталей, ВУК ТМО является не только методом, обеспечивающим комплексное улучшение износостойкости и долговечности, но и снижающим трудоемкость изготовления широко распространенных в технике деталей этого класса.

#### Список используемых источников информации

1. Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М. Термомеханическая обработка стали. – М.: Металлургия, 1983. – 480 с.
2. Шаврин О.И., Маслов Л.Н., Скворцов А.Н. Повышение характеристик работоспособности абразивно-изнашиваемых деталей высокотемпературной упрочняюще-калибрующей термомеханической обработкой. //Контактная жесткость, износостойкость, технологическое обеспечение: Международная научно-техническая конференция, 23-24 октября 2003 г. Брянск, - Брянск, БГТУ, 2003, -с. 5-8.
3. Шаврин О.И., Маслов Л.Н., Трухачев А.В. и др. Исследование и разработка технологии производства калиброванной стали с термомеханическим упрочнением. – Сталь, 1981, №3, с. 75-78.
4. Маслов Л.Н., Шаврин О.И., Дементьев В.Б., Князев А.Г., Скворцов А.Н. Обеспечение геометрических показателей качества заготовок абразивно-изнашиваемых деталей, изготовленных с применением термомеханического упрочнения. – Заготовительное производство в машиностроении - №5, 2006. – с.33-37.
5. Шаврин О.И., Скворцов А.Н., Маслов Л.Н. Технологические и математические модели термомеханической обработки проволоки, калиброванной стали и деталей машин с формированием наноструктуры и повышенных эксплуатационных характеристик. //Современные методические материалы и технологии: 11-я международная научно-техническая конференция, 23-27 июня 2015 г., г. Санкт-Петербург.
6. Маслов Л.Н., Трухачев А.В. Термомеханическая обработка конструкционной стали 38ХС для деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания. //Трение и износ. – 1988. Т.9, вып. №5, -с. 910-918.

**Ткач В.В.**

#### **Интенсификация адсорбционных свойств противоизносных присадок за счет внешнего силового поля**

*Донецкая академия внутренних дел МВД ДНР  
(Донецкая Народная Республика, Донецк)*

*doi: 10.18411/lj-28-02-2017-1-10*

*idsp: 000001:lj-28-02-2017-1-10*

#### **Аннотация**

В материалах доклада рассматривается один из перспективных способов интенсификации адсорбционного процесса молекул противоизносных присадок путем применения внешнего электростатического поля, что позволит при эксплуатации двигателей создать условия эффективного формирования смазочного слоя на поверхностях трения, а значит существенно продлить их ресурс.

**Ключевые слова:** адсорбционный процесс, интенсификация, электростатическая обработка.

В технических системах, где используются жидкие смазочные материалы, их ресурс определяется основным физическим явлением - износ поверхностей трения. Износ главным образом зависит от свойств смазочной пленки. Такая пленка формируется на

поверхностях трения благодаря наличию сил поля поверхности трения и наличию смазочной среды.

Главным образом адсорбционный процесс на поверхностях трения определяется структурой смазочного материала, в котором главную роль в процессе физической конкурентной адсорбции играют противоизносные присадки. Улучшение эксплуатационных свойств смазочной пленки на поверхностях трения возможно за счет интенсификации адсорбционного процесса.

Анализ научно-исследовательских работ в области состава и структуры используемых смазочных материалов показывает, что молекулы присадок, которые вводят в базовые масла, являются поверхностно-активными веществами, обладающими дипольным моментом за счет разнесения положительных и отрицательных зарядов.

Вследствие кинетических процессов такие молекулы взаимодействуют между собой и образуют различные надмолекулярные структуры.

Их формирование зависит от концентрации присадки в смазочных средах. Согласно изучению структуры смазочной среды на примере моторных масел установлено, что их концентрация в объеме масла достигает критического значения, что не способствует в полной мере выполнению ими своего функционального назначения.

Таким образом, для повышения эффективности адсорбционного процесса молекул присадок возникает необходимость предварительного разрушения надмолекулярных структур, то есть, условно говоря, оказание помощи силовому полю поверхности трения. Интенсифицировать адсорбционный процесс, возможно, несколькими способами, одним из перспективных как показал анализ научно-исследовательских работ, является использование внешнего электростатического поля.

С целью проверки теоретических разработок были проведены исследования по определению толщины смазочной пленки, согласно которым применение электростатической обработки позволило повысить адсорбционные свойства.

Так для моторного масла марки М-12Г2 толщина смазочной пленки выросла в 1,7 - 1,8 раза, а для смазки М-6з/12Г1 в 1,76 - 1,78 раза, в зависимости от температуры.

Полученный эффект позволил продлить ресурс автомобильной техники до двух раз по сравнению с традиционными вариантами эксплуатации.

#### Список используемых источников информации

1. Александров Е.Е., Кравец И.А., Лышков Е.Н. и др. Повышение ресурса технических систем путем использования электрических и магнитных полей. Харьков: НТУ «ХПИ», 2005 – 544с.

## РАЗДЕЛ V. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Беспалов Е.С., Болтов М.С., Кривошей В.П.**  
**Программно-информационные системы кафедры**

*Донской Государственный Технический Университет  
(Россия, Ростов-на-Дону)*

*doi: 10.18411/lj-28-02-2017-1-11*

*idsp: 000001:lj-28-02-2017-1-11*

### **Аннотация**

В данной работе можно ознакомиться с несколькими вариантами осуществления нахождения информации: соподчиненная структура и при помощи глобального поиска

**Ключевые слова:** соподчиненная структура, глобальный поиск

В наши дни компьютер является мощным инструментом, который обеспечивает моментальный доступ к любой информации по любой проблеме, которую можно решить. На протяжении нескольких лет обучения специалиста появляется решение такой задачи, как организации доступа информации, которая имеется на кафедре в виде научных и технических данных.

В процессе обучения различают некоторые задачи: нахождение решений, которые связанные с данной проблемой, изучение данных, которые взаимосвязанные между собой на разных дисциплинах. Анализируя научные технические данные кафедры, можно определить структурные блоки - информационные источники: курсовые и дипломные проекты выпускников кафедры, наличие журналов по автоматике, публикации которые имеются в разных информационных источниках, технические справочники по автоматизации, научно-исследовательские работы преподавателей кафедры.

Самый верхний уровень информационной системы представляет собой наличие баз данных, которые были созданы в MicrosoftAccess. На нижнем уровне содержится информация в виде отдельных документов, дипломов и т.д., которые содержатся в электронном виде. Любой пользователь имеет право воспользоваться этими данными, а также он может вносить туда некоторые дополнения или изменения. Работа такой системы поддерживается администратором. В его обязанности входит не только поддержка работы системы, он может изменить структуризацию такой базы данных. В ходе работы он ежедневно рассматривает данные, которые были внесены пользователями и принимает решение: стоит ли включать такую информацию в базу данных. Вход в такую систему в качестве администратора происходит по паролю. Любой человек может войти в систему двумя способами: через соподчиненную структуру и при помощи глобального поиска. Рассмотрим первый способ. Пользователь сначала выбирает информационный ресурс, с которым он желает ознакомиться. В дальнейшем, он двигается на определенный раздел выбранного ресурса и ищет нужную информацию внутри данного раздела. Данный способ удобен тем, что пользователь заранее знает, какую информацию надо искать. Есть и другой метод нахождения данных - тогда поможет глобальный поиск. При помощи данного метода поиска информации следует задать нужную фразу, а также стоит выбрать определенный тип ресурса, где стоит производить поиск. В результате такого процесса человеку будут представлены различные варианты ресурсов, где встречается нужная фраза.

Создание такой системы стандартной программой MicrosoftAccess помогла реализовать доступ к данным, которые находятся на большом расстоянии от пользователя. Появление информационной системы в учебном процессе позволяет сделать быстрый доступ пользователей к различным данным, которые находятся на

кафедре; производить ежедневное обновление и дополнение базы данных, которое способствует накоплению знаний у студентов и применению их на практике в течение учебного процесса в университете.

Список используемых источников информации

1. Эпштейн В.П. "Гипертекстовая база знаний теории управления" // Автоматика и телемеханика 2000 №11.

Научное издание

## **Тенденции развития науки и образования**

Сборник научных трудов, по материалам  
XXIII международной научно-практической конференции  
28 февраля 2017 г.  
Часть 1



**SPLN 001-000001-0105-II**

Подписано в печать 18.03.2017. Тираж 400 экз.  
Формат.60x84 1/16. Объем уч.-изд. л.2.76  
Бумага офсетная. Печать оперативная.  
Отпечатано в типографии НИЦ «Л-Журнал»  
Главный редактор: Иванов Владислав Вячеславович