

7universum.com  
**UNIVERSUM:**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**UNIVERSUM:**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Научный журнал  
Издается ежемесячно с декабря 2013 года  
Является печатной версией сетевого журнала  
Universum: технические науки

Выпуск: 10(115)

Октябрь 2023

Часть 6

Москва  
2023

УДК 62/64+66/69

ББК 3

U55

**Главный редактор:**

*Ахметов Сайранбек Махсутович*, д-р техн. наук;

**Члены редакционной коллегии:**

*Горбачевский Евгений Викторович*, канд. техн. наук;

*Демин Анатолий Владимирович*, д-р техн. наук;

*Дехканов Зульфикахар Киргизбаевич*, д-р техн. наук;

*Звезда Марина Юрьевна*, д-р. физ.-мат. наук;

*Ким Алексей Юрьевич*, д-р техн. наук;

*Козьминых Владислав Олегович*, д-р хим. наук;

*Ларионов Максим Викторович*, д-р биол. наук;

*Манасян Сергей Керопович*, д-р техн. наук;

*Мажидов Кахрамон Халимович*, д-р наук, проф;

*Мартышкин Алексей Иванович*, канд. техн. наук;

*Мерганов Аваз Мирсултанович*, канд. техн. наук;

*Пайзуллаханов Мухаммад-Султанхан Саидвалиханович*, д-р техн. наук;

*Радкевич Мария Викторовна*, д-р техн. наук;

*Романов Андрей Александрович*, спец. по направлению гидрогеология и инженерная геология;

*Серегин Андрей Алексеевич*, канд. техн. наук;

*Старченко Ирина Борисовна*, д-р техн. наук;

*Усманов Хайрулла Сайдуллаевич*, д-р техн. наук;

*Юденков Алексей Витальевич*, д-р физ.-мат. наук;

*Tengiz Magradze*, PhD in Power Engineering and Electrical Engineering.

**U55 Universum: технические науки:** научный журнал. – № 10(115). Часть 6., М., Изд. «МЦНО», 2023. – 72 с. – Электрон. версия печ. публ. – <http://7universum.com/ru/tech/archive/category/10115>

ISSN : 2311-5122

DOI: 10.32743/UniTech.2023.115.10

Учредитель и издатель: ООО «МЦНО»

ББК 3

© ООО «МЦНО», 2023 г.

<b>Содержание</b>	
<b>Статьи на русском языке</b>	<b>5</b>
<b>Электротехника</b>	<b>5</b>
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ В ШАХТЕ С НЕЙРОСЕТЕВОЙ НАСТРОЙКОЙ ПАРАМЕТРОВ ПИ-РЕГУЛЯТОРА	5
До Чи Тхань Вуонг Ван Санг	
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ БОЛЬШИХ ПОСТОЯННЫХ ТОКОВ	14
Савриддинов Нуриддин Эшбоев Азамат Туракулович	
<b>Энергетика</b>	<b>18</b>
АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ РАССЕЙАНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ, ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ СОЛНЕЧНЫМИ ПАНЕЛЯМИ	18
Аъзамов Саидикром Саидмуродович	
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ВОДЕ НА ГИДРОАБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС ТУРБИН БОЗСУЙСКОЙ ГЭС	22
Кан Эдуард Климентиевич Ярбеков Мансур Собир угли	
<b>Papers in english</b>	<b>28</b>
<b>Computer science, computer engineering and management</b>	<b>28</b>
UZROBERTA: AN UZBEK LANGUAGE PRE-TRAINED MODEL	28
Fatima Adilova Rifqat Davronov Ruzmat Safarov	
A COMPARISON OF FEATURE SELECTION TECHNIQUES IN QSAR MODELING	33
Rifqat Davronov Samariddin Kushmuratov	
<b>Mechanical engineering and machine science</b>	<b>37</b>
APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING FOR THE SYNTHESIS OF NEW ALLOYS	37
Kamolkhan Karimov Nodir Turakhodjaev Azamat Akhmedov Mehrubon Mirmuhamedov Jamshed Sharipov Ziyodullo Obidov	
PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MARINE ENGINE PARTS RESTORED BY DIFFUSION CHROME PLATING	41
Rashad Gharib Goyushov	
THE ACCURACY OF THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE RESTORED PLUNGERS AND FLANGES	45
Rashad Gharib Goyushov	
SURFACE QUALITY IN ABRASIVE TREATMENT OF CAR WINDOWS, PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE TREATED MATERIAL	49
Makhzuna Turdialieva	
<b>Metallurgy and materials science</b>	<b>52</b>
STUDY OF THE SOLUBILITY OF ZINC FERRITE IN A MIXTURE OF CITRIC AND SULFURIC ACIDS	52
Jonibek Ismailov Bakhriddin Berdiyarov Shokhrukh Khojiev Kakhramon Ochildiev	

THERMODYNAMICS OF REDUCTION OF ZINC FERRITE BY PYRITE	56
Jonibek Ismailov Bakhriddin Berdiyarov Shokhrukh Khojiev Kakhramon Ochildiev	
RESEARCH ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF COPPER-CHROMIUM BASED POWDER ALLOY	60
Adham Alikulov Begali Bektemirov Faizullah Norkhudjayev Shohruh Tlovoldiyev	
<b>Processes and machines of agroengineering systems</b>	<b>64</b>
HYDRAULIC EFFICIENCY OF COATED AND UNCOATED OPEN CHANNELS	64
Akhror Obidzhonov Askar Babaev	

## СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

DOI: 10.32743/UniTech.2023.115.10.16130

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ В ШАХТЕ С НЕЙРОСЕТЕВОЙ НАСТРОЙКОЙ ПАРАМЕТРОВ ПИ-РЕГУЛЯТОРА****До Чи Тхань***канд. техн. наук,**Факультет электротехники и электроники,**Восточноазиатский технологический университет (EAUT),**Вьетнам, г. Бак Нинь**E-mail: [thanhd@eaut.edu.vn](mailto:thanhd@eaut.edu.vn)***Вуонг Ван Санг***магистр,**Факультет электротехники и электроники,**Восточноазиатский технологический университет (EAUT),**Вьетнам, г. Бак Нинь**E-mail: [sangva@eaut.edu.vn](mailto:sangva@eaut.edu.vn)***DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR CONTROLLING THE SPEED OF AN ASYNCHRONOUS MOTOR BY DRIVING A LOCAL VENTILATION FAN IN A MINE WITH A NEURAL NETWORK SETTING OF THE PARAMETERS OF THE PI CONTROLLER****Do Chi Thanh***Ph.D,**Faculty of Electrical and Electronics Engineering,**East Asia University of Technology (EAUT),**Viet Nam, Bac Ninh***Vuong Van Sang***Master's,**Faculty of Electrical and Electronics Engineering,**East Asia University of Technology (EAUT),**Viet Nam, Bac Ninh***АННОТАЦИЯ**

Асинхронный электропривод представляет собой динамическую нелинейную систему с неопределенностью параметров машины. Целью данного исследования является улучшение характеристик отслеживания приводов асинхронных двигателей. Представлен метод управления приводами асинхронных двигателей с использованием традиционного пропорционально-интегрального (ПИ) контроллера и контроллера искусственной нейронной сети (ИНС). Программное обеспечение ATLAB/SIMULINK использовалось для разработки моделей трехфазных асинхронных двигателей. Дополнительно была проверена работоспособность двух контроллеров. ИНС обучена таким образом, чтобы скорость привода соответствовала эталонной скорости. Видно, что с использованием ИНС-контроллера производительность и динамика асинхронных двигателей улучшаются по сравнению с обычными двигателями с ПИ-регулятором.

**ABSTRACT**

The induction motor drive is a dynamic nonlinear system with uncertainty in the machine parameters. The aim of this study is to improve tracking performance of the induction motor drive. A method for controlling induction motor drive is presented with conventional Proportional-Integral (PI) controller and Artificial Neural Networks (ANNs) controller.

Библиографическое описание: До Ч.Т., Вуонг В.С. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ В ШАХТЕ С НЕЙРОСЕТЕВОЙ НАСТРОЙКОЙ ПАРАМЕТРОВ ПИ-РЕГУЛЯТОРА // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2023. 10(115). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16130>

MATLAB/SIMULINK software is used to develop a three phase induction motor model. Also the performances of the two controllers have been verified. The ANN is trained so that the speed of the drive tracks the reference speed. It is found that with the use of the ANN controller the performance and dynamics of the induction motor are enhanced as compared with that of a conventional PI controller.

**Ключевые слова:** ПИ-регулятора, RBF нейронной сети, ПИ - алгоритм управления, ПИ-контроллера, инверсное нейроуправление, ПИ-регулятор на основе RBF нейронной сети, асинхронный двигатель.

**Keywords:** RBF neural network, PI-control algorithm, PI-controller, inverse neural control, PI-controller based on RBF neural network, asynchronous motor.

**Введение**

Во многих передовых стратегиях управления промышленными цифровыми приводами для управления асинхронными двигателями с ориентацией магнитного поля.

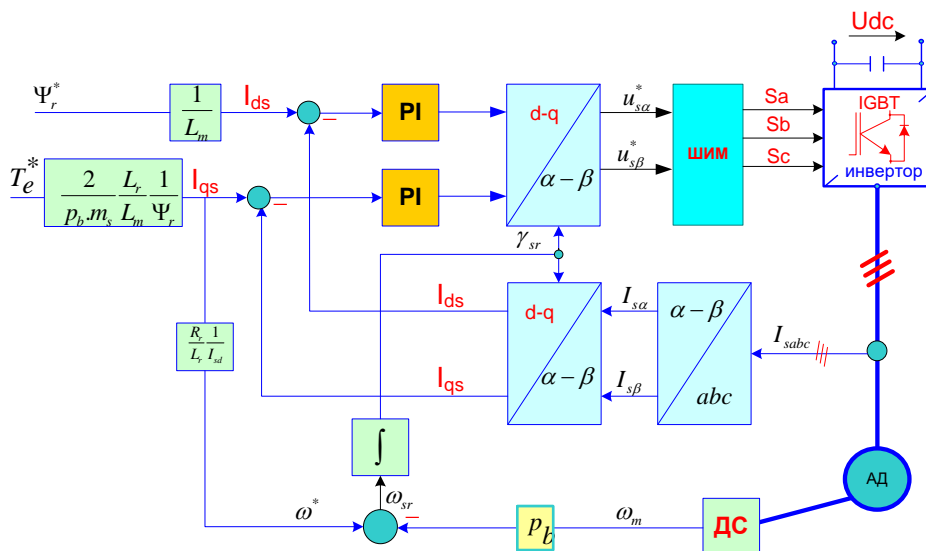
Обычный ПИД-регулятор скорости добился самого широкого признания среди высокопроизводительных переменного тока [1-4]. Однако в некоторых приложениях, таких как местные воздуходувки в угольных шахтах, станки, рабочие приводы при ряде изменений, как правило. В таких условиях параметры системы существенно изменяются, что в большинстве случаев приводит к возмущениям нагрузки. Чтобы преодолеть этот недостаток, алгоритм управления должен включать сложный процесс расчета, позволяющий исключить изменения возмущений нагрузки. Однако алгоритмы управления, применяемые к этим системам, становятся все более сложными и требуют обширных вычислений для реализации в реальном времени. В последние годы интеллектуальные нейронные сети и нечеткая логика контроллер приобрел большое значение и продемонстрировали свою изобретательность во многих отношениях [5-8]. Проанализируем эффективность применения ИНС

на примере использования нейросетевого настройка потокосцепления ротора в системе асинхронного электропривода привод для вентилятора местного уголь шахта .

В отличие от прямого векторного управления, косвенное векторное управление это самый популярный метод в промышленном применении, где требуется широкий диапазон скорости и быстрая реакция момента на рисунке 1 [ 5, 7,8 ].

В системе координат d - q уравнения модели асинхронного двигателя могут быть следующим образом:

$$\begin{aligned}
 U_{qs} &= R_s \cdot i_{qs} + \frac{d}{dt} \Psi_{qs} + \omega_{sr} \cdot \Psi_{qs} \\
 U_{ds} &= R_s \cdot i_{ds} + \frac{d}{dt} \Psi_{ds} + \omega_{sr} \cdot \Psi_{ds} \\
 U_{qr} &= R_r \cdot i_{qr} + \frac{d}{dt} \Psi_{qr} + (\omega_{sr} - \omega_m) \Psi_{dr} \\
 U_{dr} &= R_r \cdot i_{dr} + \frac{d}{dt} \Psi_{dr} + (\omega_{sr} - \omega_m) \Psi_{qr}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$



Широтно-импульсная модуляция (ШИМ),  $S_a, S_b, S_c$  - переключение источника напряжения инвертора для состояний

**Рисунок 1. Блок-схема косвенная полевое управление**

где:  $p_p$  - число пар полюсов двигателя.

$\gamma_{sr}$  - векторный угол потока ротора

$\omega_{sr}$  - угловая скорость вектора потока ротора

$R_r$  - сопротивление ротора в режиме короткого замыкания (вал двигателя заторможен).

$L_r$  - индуктивность рассеяния ротора характеризует ту часть потока ротора, которая не сцеплена со статором и не принимает участие в создании момента

$L_m$  - главная индуктивность характеризует ту часть потока, которая сцеплена со статором и с ротором и участвует в создании момента.

$\Psi_S$  - вектор потока статора;

$\Psi_r$  - вектор потока ротора;

$T_e$  - электромагнитный момент

$M_c$  - статический момент нагрузки;

$\omega_m$  - угловая частота вращения ротора, рад/с;

$J$  - момент инерции электропривода, приведенный к валу двигателя.

Основной особенностью метода полевого управления (FOC) является координатное преобразование. Вектор тока измеряется в неподвижной координате  $\alpha - \beta$ .

Поэтому компоненты тока  $I_{sa}, I_{sb}$  должны быть преобразованы в вращающуюся систему  $d - q$ . Аналогично, компоненты вектора напряжения опорного статора  $U_{sa}, U_{sb}$ , должны быть преобразованы из системы  $d-q$  в  $\alpha-\beta$ . Для этих преобразований требуется угол потока ротора  $\gamma_{sr}$ . В зависимости от расчетов этого угла два разных вида поля могут

быть рассмотрены ориентированные методы управления. Это прямое поленое управление (DFOC) и косвенным полевым ориентированным управлением (IFOC). Для угла потока ротора IFOC  $\gamma_{sr}$  получается из эталонных  $I_{ds}, I_{qs}$  токов.

Угловая скорость скорости вектора потока ротора может быть рассчитана следующим образом:

$$\omega_{rs} = \omega_{sl} + p_b \omega_m \quad (2)$$

$$\omega_{rs} = \omega_{sl} = \frac{1}{I_{sd}} \frac{R_r}{L_r} I_{sq} \quad (3)$$

Контроль скорости асинхронного двигателя с использованием метода (IFOC).

В частном случае, когда составляющие нулевой последовательности фаз отсутствуют, например, если обмотки машины соединены в звезду без нулевого провода, то выполняется соотношение  $U_a + U_b + U_c = 0$  и третья координата векторной переменной оказывается линейно зависимой от двух остальных координат. Порядок координатных преобразований уменьшается на единицу [5].

Из  $(a, b, c)$  в  $(\alpha, \beta)$ :

в векторно-матричной форме:

$$\begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} \cos 0 & \frac{2}{3} \cos(-\frac{2\pi}{3}) & \frac{2}{3} \cos(\frac{2\pi}{3}) \\ -\frac{2}{3} \sin 0 & -\frac{2}{3} \sin(-\frac{2\pi}{3}) & -\frac{2}{3} \sin(\frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

Из  $(\alpha, \beta)$  в  $(a, b, c)$ :

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 0 & -\sin 0 & 1 \\ \cos(-\frac{2\pi}{3}) & -\sin(-\frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\frac{2\pi}{3}) & -\sin(\frac{2\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} \quad (5)$$

Непосредственно из  $(a, b, c)$  в  $(d, q)$ .

$$\begin{aligned} U_d &= \frac{2}{3} [(U_a \cos \theta + U_b \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) + U_c \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}))] \\ U_q &= \frac{2}{3} [(U_a \sin \theta + U_b \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) + U_c \sin(\theta + \frac{2\pi}{3}))] \end{aligned} \quad (6)$$

Из  $(d, q)$  в  $(a, b, c)$ :

$$\begin{aligned} U_a &= U_d \cos \theta - U_q \sin \theta; \\ U_b &= U_d \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) - U_q \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}); \\ U_c &= U_d \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) - U_q \sin(\theta + \frac{2\pi}{3}); \end{aligned} \quad (7)$$

Обозначим мгновенные значения фазовых токов в статоре  $i_a$ ,  $i_b$  и  $i_c$  соответствующие фазам a, b и c. Эти фазы можно рассматривать как три планарные системы координат. Конечно, в планарной системе есть только две степени свободы и возможны только два независимых вектора. Любая дополнительная величина может быть выражена как линейная комбинация. Преобразование Кларка переводит трехосную систему координат в двухосную ортогональную систему. Для этого преобразования используется формула:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (8)$$

где  $i_\alpha$  и  $i_\beta$  - проекции пространственного вектора тока на оси двухфазной стационарной системы координат;

$i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  - проекции пространственного вектора тока на оси трехфазной системы координат.

Затем используется преобразование Парка для перевода стационарной системы координат ( $i_d$ ,  $i_q$ ). Исходные координаты d (магнитный поток) и q (крутящий момент) и система координат совмещают ось d с положением магнитного поля. Компоненты  $i_d$  и  $i_q$  статорного тока определяются из следующих уравнений:

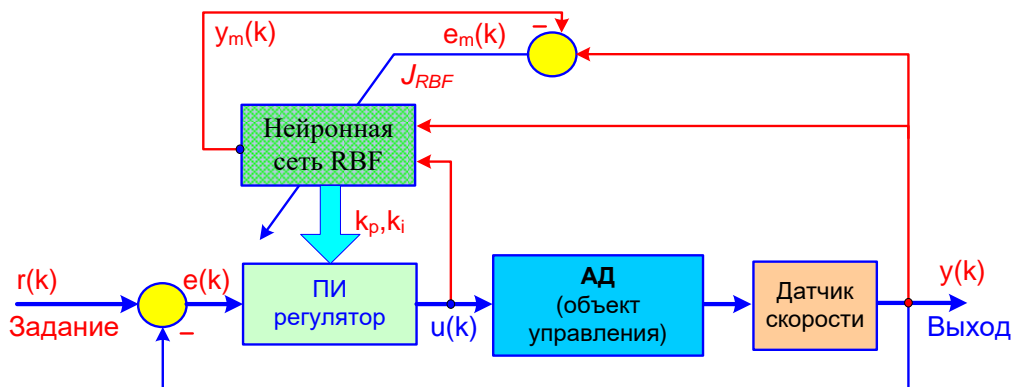
$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (9)$$

где  $\theta = \omega t$  - значение угла поворота вращающейся системы координат с частотой  $\omega$ .

Это позволяет контроллеру формировать напряжения, которые нужно приложить к статору для задания векторов токов требуемой величины в системе координат ротора. Напряжение затем трансформируется с помощью обратных преобразований Парка и Кларка в импульс напряжения в 3-фазной системе координат статора, так что каждая фаза может быть возбуждена с помощью своего преобразователя напряжения [8].

### Разработка алгоритмов нейросетевой адаптации параметров ПИ-регулятора скорости асинхронного двигателя

ПИ-регуляторы находят широкое применение в системах управления динамическими объектами, и в частности, при управлении асинхронным двигателем. Тем не менее, применение классических ПИ-регуляторов имеет свои ограничения и недостатки. В работе предлагается ПИ-контроллер, основанный на идентификации нейронной сети RBF, для управления скоростью асинхронного двигателя. Предложенная структура системы управления показана на рисунке 2 нейронная сеть RBF, используемая для регулирования параметров:  $k_p$ ,  $k_i$  [8, 10, 11].



( $r(k)$  - задание,  $e(k)$  - рассогласование,  $u(k)$  - сигнал управления,  $y(k)$  - выход объект управления,  $y_m(k)$  - выход идентификатора RBF)

Рисунок 2. ПИ-регулятор на основе RBF нейронной сети

Интеллектуальный ПИ - регулятор на основе радиального базирования функциональная (RBF) нейронная сеть.

Сеть радиальной базисной функции (RBF) представляет собой трехслойную подачу вперед искусственного нейрона сеть, которая использует функции радиальной функции как функции активации. Выходной сигнал сеть представляет собой линейную комбинацию радиальных базисных функций входов и нейрона параметры. Радиальные базисные функции сети имеют много применений, включая функцию аппроксимации, прогнозирование

временных рядов, классификация и системный контроль. Он имеет преимущество быстрой скорости обучения и способно избежать проблемы локального минимума в области управления системой. Следовательно, RBF нейронной сети используется для настройки параметров ПИ в стратегия контроля.

Нейронная сеть RBF имеет три уровня: входной слой, скрытый слой и выходной слой. Мы предложили, что нейронная сеть RBF была снабжена 2 входами, 5 узлами скрытого слоя и один выходной узел. Структура сети показана на рисунке 3.



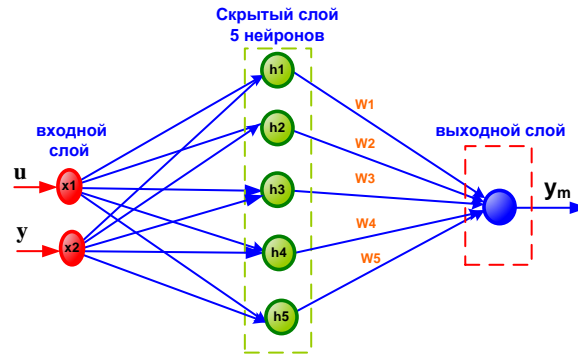


Рисунок 3. Нейронная сеть RBF

Кроме того, матрица якобиана важна для регулирования параметров ПИ-регулятора в этой стратегии управления [10,15].

Проектированная сеть RBF имеет три уровня: входной уровень, один скрытый слой и выходной слой, как показано на рисунке 2. В этой сети есть два входа, и входной вектор сети RBF задается как:

$$X = [x_1, \dots, x_i]^T = [u, y]^T ; \{i = 1,2\} \quad (10)$$

В нейронной сети RBF в качестве функции активации используется функция Гаусса. Скрытые нейроны реализуют функцию Гаусса как базисную функцию и элементы радиального базисного вектора  $H = [h_1, h_2, \dots, h_j, \dots, h_5]^T$  может быть выражена гауссовой функцией следующим образом:

$$h_j(x) = \exp \left[ \frac{-\|x - c_j\|^2}{2b_j^2} \right]; \{j = 1,2, \dots 5\} \quad (11)$$

где  $X$  - входной вектор нейронной сети, заданный уравнением (10),

$C_j = [c_{j1}, c_{j2}]$  - входной вектор  $j$ -го узла в скрытом слое,  $b_j$  - ширина параметр  $j$ -го узла в скрытом слое,  $a_j$  - количество нейронов в скрытом слое.

Таким образом, выход сети может быть выражен следующим образом:

$$y_m(k) = \sum_{j=1}^5 w_j h_j(x) \quad (12)$$

где  $w_j$  - веса нейронной сети RBF. Функция индекса производительности может быть представлена как:

$$E(t) = \frac{1}{2} [y(k) - y_m(k)]^2 \quad (13)$$

где  $y(k)$  - идеальный выход. Основываясь на методе градиентного спуска, параметры нейронной сети RBF могут обновляться следующим образом:

$$w_j(k+1) = w_j(k) + \eta [y(k) - y_m(k)] h_j + \alpha [w_j(k) + w_j(k-1)]$$

$$c_{ij}(k+1) = c_{ij}(k) + \eta [y(k) - y_m(k)] h_j w_j \frac{(x_i - c_{ij})}{b_j^2} + \alpha [c_{ij}(k) + c_{ij}(k-1)] \quad (14)$$

$$b_j(k+1) = b_j(k) + \eta [y(k) - y_m(k)] h_j w_j \frac{\|x_i - c_{ij}\|^2}{b_j^3} + \alpha [b_j(k) + b_j(k-1)]$$

где  $\eta \in (0,1)$  - скорость обучения,

а  $\alpha \in (0,1)$  - коэффициент импульса.

Матричный алгоритм Якоби выглядит следующим образом [10,15].

$$\frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \approx \frac{\partial y_m(k)}{\partial u(k)} = \sum_{j=1}^m w_j h_j \frac{c_{1j} - x_1}{b_j^2} \quad (15)$$

где  $x_1 = u(k)$ .

Параметры ПИ-регулятора регулируются матрицей якобиана контрольной установки, которая полученных идентификацией нейронной сети RBF.

Известно, что производительность ПИ-регулирования основана на значении ПИ параметры  $k_p$  и  $k_i$ . ПИ-регулятор может иметь отличную производительность с правильными параметрами, иначе контроллер не сможет добиться желаемого контроля требование. Таким образом, правильное регулирование параметров ПИ-регулятора является важной задачей и разработанная сеть RBF способна точно настраивать  $k_p$  и  $k_i$  в разных ситуаций с использованием матрицы Якоби [13,15].

Во-первых, функция ошибки сети определяется как:

$$E(k) = \frac{1}{2} [r(k) - y(k)]^2 \quad (16)$$

Затем правило автоподстройки  $k_p$  и  $k_i$  разрабатывается на основе градиентного спуска итерации следующим образом:

$$\Delta k_p = -\eta \frac{\partial E}{\partial k_p} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial u} \cdot \frac{\partial u}{\partial k_p} = \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial u} \cdot x_{c1}(k) \quad (17)$$

$$\Delta k_i = -\eta \frac{\partial E}{\partial k_i} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial u} \cdot \frac{\partial u}{\partial k_i} = \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial u} \cdot x_{c2}(k) \quad (18)$$

где  $\frac{\partial y}{\partial u}$  - матрица якобиана, заданная уравнением (8).

$x_{c1}(k), x_{c2}(k)$  - это входы

ПИ-регулятора в управлении стратегией и их расчет будет приведен в следующем разделе.

**ПИ - алгоритм управления**

В этой стратегии управления системная ошибка между желаемым выходом системы и фактический выход системы, как показано на рисунке 2, определяется:

$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (19)$$

$$e_m(k) = y(k) - y_m(k) \quad (20)$$

Входы ПИ можно выразить следующим образом:

$$xc_1(k) = e(k) - e(k - 1) \quad (21)$$

$$xc_2(k) = e(k) \quad (22)$$

Метод градиентного спуска используется для корректировки параметра пропорции  $k_p$  и интеграла параметр  $k_i$ .

$$k_p(k + 1) = k_p + \Delta k_p = k_p + \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial u} \cdot xc_1(k) \quad (23)$$

$$k_i(k + 1) = k_i + \Delta k_i = k_i + \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial u} \cdot xc_2(k) \quad (24)$$

Затем алгоритм ПИ-регулирования задается как:

$$u(k) = u(k - 1) + k_p\{e(k) - e(k - 1)\} + k_i e(k) \quad (25)$$

**Краткое описание ПИ-регулирования на основе RBF нейронной сети**

Таким образом, процесс управления RBFNN-PI -управлением, представленный на рисунке 4, может быть резюмируется следующим образом:

- Соберите каждое значение на шаге образца  $k$
- вычислить сетевой выход  $y_m$  на основе собранных данных.

- получить матрицу Якоби, используя уравнения.
- настроить параметры ПИ-регулятора для ПИ-регулятора.
- команда отправки контроллера на асинхронный двигатель.
- установление  $k = k + 1$ .

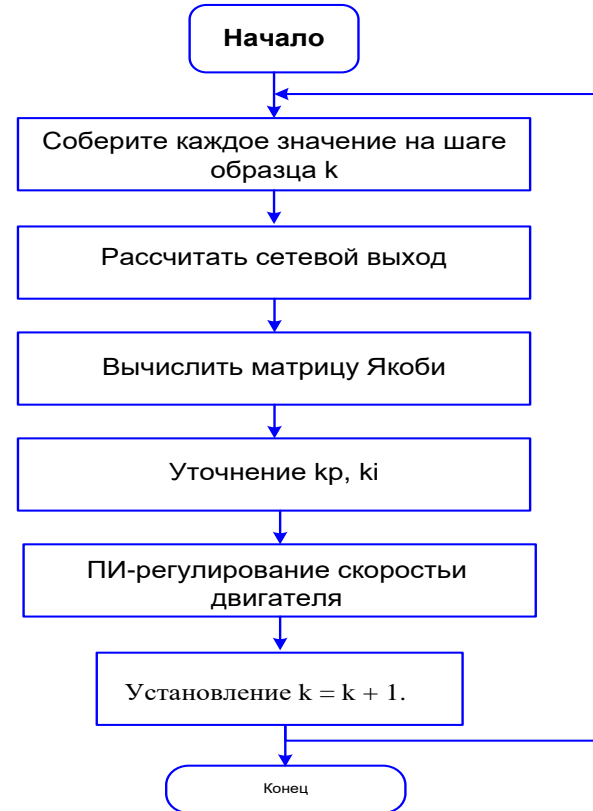


Рисунок 4. Блок схема RBF нейронный сети ПИ регулятора

**Результаты моделирования**

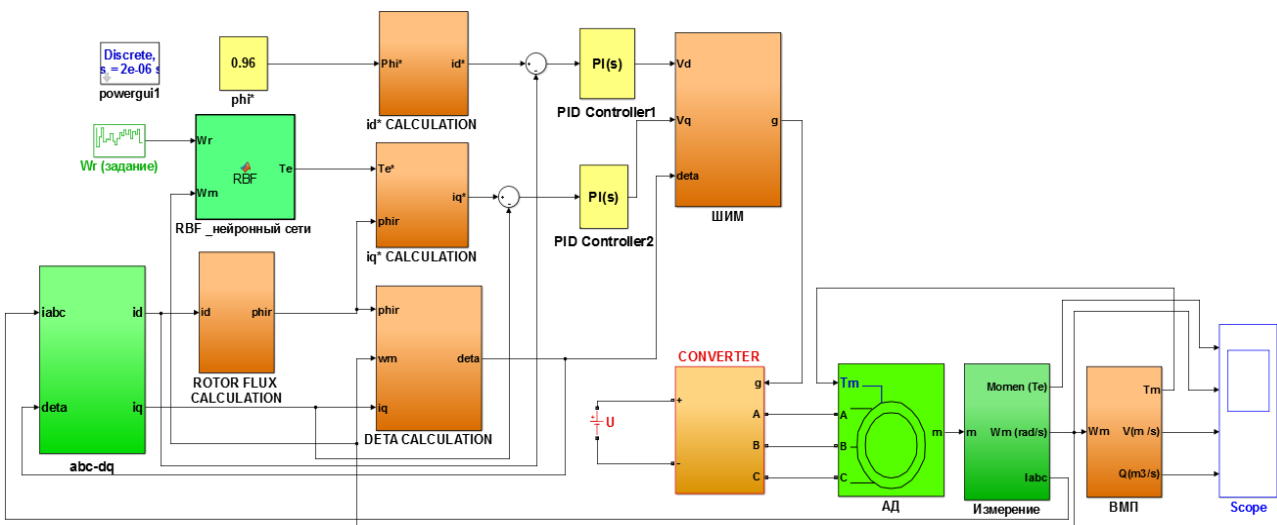


Рисунок 5. Модель Simulink для векторной управляемой асинхронной двигательной систем привод ВМП

Процесс управления скоростью двигателя смоделирован в среде MATLAB/Simulink с использованием метода FOC, а в системе привода асинхронного двигателя вентилятора местной вентиляции используется широтно-импульсная модуляция. Сравнение производительности нейросетевого ПИ-регулятора с классическим ПИ-регулятором показано на рисунке 6.

Стандартные параметры ПИ-регулятора, настроенные методом проб и ошибок, были учтены с соответствующими коэффициентами. Эти параметры для регулятора скорости составляют  $k_p = 110$ ,  $k_i = 10$ . Частота переключения инвертора выбрана равной 5 кГц, а номинальное напряжение промежуточной цепи выбрано равным 1000 В.

Мы видим, что на рисунке 6 реакция системы привода асинхронного двигателя на основе предложенного метода нейронной сети ПИ-регулятора имеет сверхкоррекцию и небольшую ошибку остановки, чем классический метод ПИ-управления на этапе изменения задания скорости. В этой статье предлагается решение адаптивного ПИ-управления на основе нейронной сети RBF для управления скоростью асинхронных двигателей. Параметры предлагаемого контроллера настраиваются онлайн для достижения желаемой производительности контроллера.

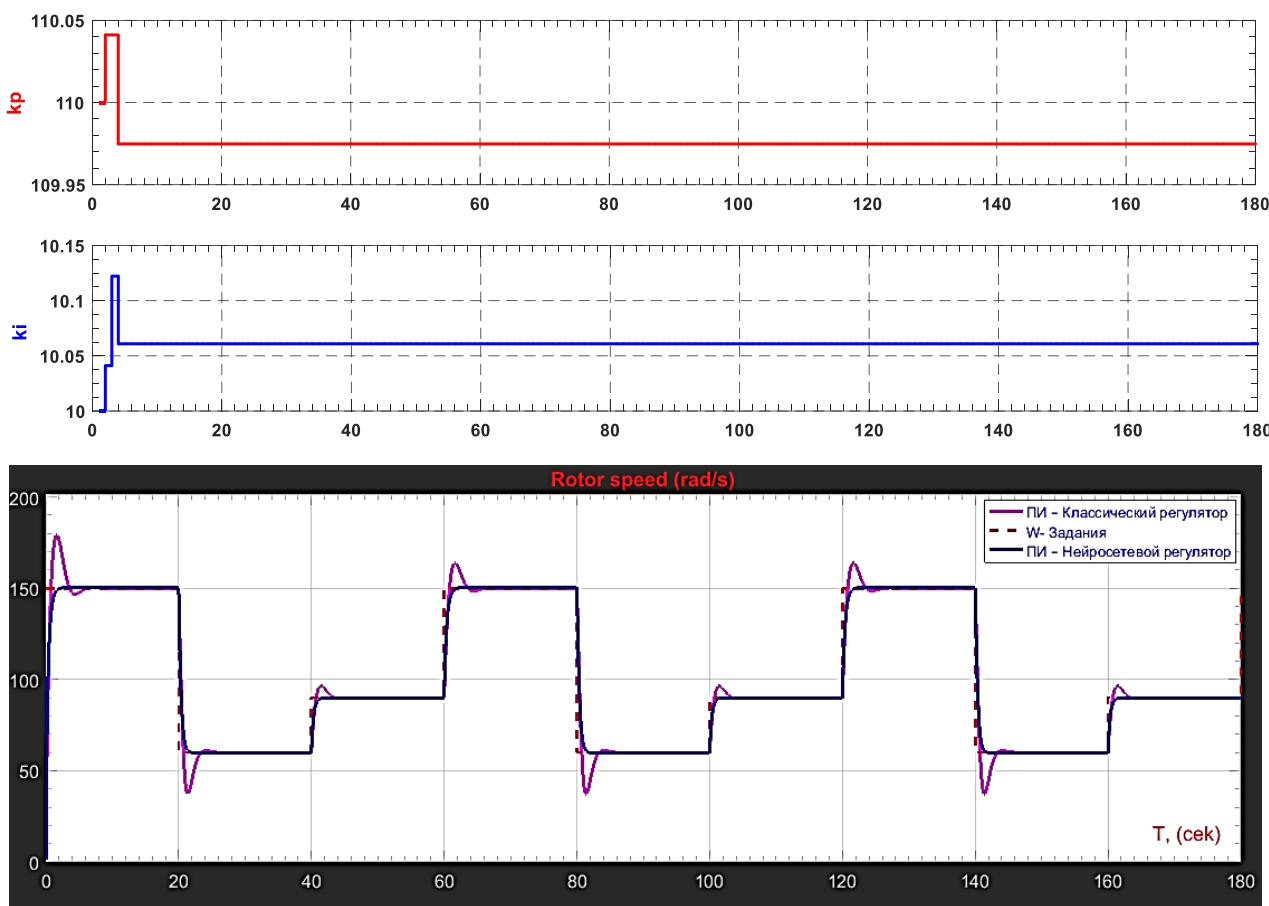


Рисунок 6. Результаты моделирования с нейроконтроллером

**Заключение**

В данной работе на основе модели нейроконтроллер с нейроэмулятором, включающие многослойную нейронную сеть прямого распространения было реализовано управление скоростью асинхронного двигателя привод для вентилятора местного.

Разработан алгоритм управления вентилятором местного проветривания обеспечивающий возможность адаптивной настройки параметров классического ПИ регулятора с использованием нейронного механизма.

Результаты полученные в результате моделирования, показывают, что НС и контроллер ПИ имеет значительно лучшую производительность

по сравнению с обычным ПИ-регулятором имеет простую форму и может быть легко разработан.

В этой работе рассматриваются идея классический ПИ-регулятор можно заменить регулятором ПИ с использованием нейронной сети. Регулятор ПИ использует нейронную сеть для автоматического поиска параметра  $k_p$ ,  $k_i$  который оптимизирован для системы автоматического управления.

Использование этого контроллера вызвало фактическая скорость могла быстро отслеживать команду, плавно и с нулевой устойчивой погрешностью для система управления. Скорость увеличивается от 60 (рад / с) до 150 (рад / с) при 2 сек и ошибки по скоростям заданию  $\% \Delta \omega = 0,15\%$  .

Технические характеристики, принятые во внимание учитываются: перерегулирование, время нарастания, время установления и установившаяся ошибка. Производительность предлагаемых контроллеров были оценены в различных условиях эксплуатации состояние системы вождения и результаты продемонстрировать эффективность этих мер контроля структуры. Сравнительное исследование контроля стратегии с точки зрения производительности были проведенный. Интеллектуальная система

управления использует контроллер нейронной сети снизил пик перерегулирование, время нарастания и время установления по сравнению в систему с ПИ-регулятором. Это наблюдается что скорость машины остается постоянной с уменьшенным перерегулированием с использованием нерва сетевые контроллеры. В заключение, предложенная искусственная нейронная сеть показывает высокие производительность и хорошая точность управления для система.система.

Таблица 1.

Параметры вентилятора местного проветривания FBD

Наименование параметра, единицы измерения	Значение
Мощность, кВт	25
Напряжение, В	380/660
Частота вращения, об /мин	3000
Частота сети, Гц	50-60
$\cos\varphi$	0,88
Кратность начального пускового вращающего момента к номинальному	1,9
Кратность минимального вращающего момента к номинальному	1,3
Кратность максимального вращающего момента к номинальному	2,5
Момент инерции (J), кг/м <sup>2</sup>	0,085
Удельная масса, кг/кВт	9,5
Активное сопротивление фазы статора $R_S$ , Ом	0,455
Приведенное активное сопротивление ротора $R_R$ , Ом	0,413
Индуктивность рассеяния статора и ротора $L_S$ и $L_{\sigma R}$ , Гн	0,0048
Индуктивность взаимной индукции $L_M$ , Гн	0,698
Диаметр трубопровода ветра, м	0,6
Площадь выработки в свету, м <sup>2</sup> ;	12,1

#### Список литературы:

1. А.И. Бобиков, к.т.н., доцент., Нейросетевое управление угловым положением двигателя постоянного тока. ISSN 1995-4565. Вестник РГРТУ. 2016. № 57. С.139.
2. Калачев Ю.Н. Векторное регулирование (заметки практика) 2013 г.
3. к.т.н., доц. Глушенко А.И., аспирант Фомин А.В., аспирант Петров В.А. Разработка методологии построения нейросетевого настройщика параметров линейных регуляторов для нелинейных объектов управления с различной динамикой. Старый Оскол, 2017.
4. До Чи Тхань. Разработка алгоритмов управления вентиляционной системой метанообильных шахт вьетнама с использованием моделей прогнозной аналитики, Диссер 2018.
5. Kusuma Gottapu, U. Santosh Kiran, U. Srikanth Raju3 P. Nagasai, S. Prasad, P. Tejeswara Rao. Design And Analysis Of Artificial Neural Network Based Controller For Speed Control Of Induction Motor Using D T C. ISSN : 2248-9622, Vol. 4, Issue 4( Version 1), April 2014, pp. 259-264. С. 259.
6. Taifour Ali1, Abdelaziz Y.M. Abbas2, Ekram Hassabo Abaid Osman3. Control of Induction Motor Drive using Artificial Neural Network. SUST Journal of Engineering and Computer Science (JECS), Vol. 15, No. 2, 2014.
7. B.Sowjanya1, M.Vijaya Kumar2, M.Anka Rao. Speed Estimation of Sensorless Vector Controlled Induction Motor Drive using ANN. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. Vol. 4, Issue 7, July 2015.
8. M.K. Masood\*, Wooi Ping Hew and Nasrudin Abd. Rahim. Review of ANFIS-based control of induction motors. 2012 - IOS Press and the authors. All rights reserved.
9. M. Rizwan Khan, Arif Iqbal. Sensorless Control of a Vector Controlled ThreePhase Induction Motor Drive using Artificial Neural Network. All content following this page was uploaded by Arif Iqbal on 11 December 2015.

10. Kriauciunas J., Rinkeviciene R. and Baskys A. (2014). Self-Tuning Speed Control of the Induction Motor Drive. Vol.20, No.6, pp.24-28..
11. Zhang Y., Song J., Song S. and Yan M. (2010). Adaptive PID Speed Controller Based on RBF for Permanent Magnet Synchronous Motor System. International Conference on Intelligent Computation Tech. and Automation, 425-428.
12. Wei Z., Zong G. and Wu H. (2013). Force Control of Electrical Load System Based on Single Neuron PID Adaptive and Repetitive Control. Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE), pp-1205-1210.
13. Kim Y.S., Chung I-Y. and Moon S.I. (2015). Tuning of the PI controller Parameters of a PMSG Wind Turbine to Improve Control Performance under Various Wind Speeds. Energies, 8, 1406-1425.
14. Ohm D.Y. (2013). Dynamic Model of Induction Motor for Vector Control, Drivetech, Inc, Blacksburg, Virginia.
15. Amrane A., Louri M., Larabi, A. and Hamzaoui A. (2013). A Fuzzy Model Reference Adaptive System Control for Induction Motor Drives. Proceedings of the 3rd International Conf. on Sys. and Control, Algiers, Algeria.
16. Liu J. (2013). Radial Basis Function (RBF) Neural Network Control for Mechanical Systems. Tsinghua University Press, Beijing and Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ БОЛЬШИХ ПОСТОЯННЫХ ТОКОВ****Савриддинов Нуриддин***канд. техн. наук, ст. преподаватель,  
Чирчикское высшее танковое командно-инженерное,  
Республика Узбекистан, г. Чирчик***Эшбоев Азамат Туракулович***ст. преподаватель,  
Чирчикское высшее танковое командно-инженерное,  
Республика Узбекистан, г. Чирчик  
E-mail: [azamatturakulov19@gmail.com](mailto:azamatturakulov19@gmail.com)***ANALYSIS OF METHODS FOR MEASUREMENT OF LARGE DC CURRENTS****Nuriddin Savriddinov***Ph.D. tech. sciences, senior lecturer,  
Chirchik higher tank command and engineering educational institution,  
Republic of Uzbekistan, Chirchik***Azamat Eshboev***Senior lecturer,  
Chirchik higher tank command and engineering educational institution,  
Republic of Uzbekistan, Chirchik***АННОТАЦИЯ**

В статье рассмотрены анализ методов измерений в цепях больших постоянных токов с помощью первичного магнитомодуляционного преобразователя и принцип его работы.

**ABSTRACT**

The article discusses the analysis of measurement methods in circuits of large direct currents using a primary magnetic modulation converter and the principle of its operation.

**Ключевые слова:** первичный преобразователь, шунт, модуляция, сопротивление, шина, модулирующая обмотка напряжённости магнитного поля, аппроксимация, магнитная индукция.

**Keywords:** primary converter, shunt, modulation, resistance, bus, modulating winding of magnetic field strength, approximation, magnetic induction.

**Актуальность.** Передача электрической энергии на большие расстояния целесообразно осуществить на постоянном токе, а также все большие требования использования больших постоянных токов в различных отраслях народного хозяйства, в частности, в химической промышленности, металлургии и ряде других областей с возрастающими требованиями к точности измерения больших постоянных токов.

Как известно для измерения больших постоянных токов применяются шунты, которые обладают рядом недостатков: наличие разрыва электрической цепи, увеличение масса-габаритных размеров с увеличением измеряемого тока, наличие потери при прохождении через них больших постоянных токов. Для устранения указанных недостатков необходимо применить другие методы, а именно первичные магнито-модуляционные преобразователи.

Существующие в настоящее время средства измерений постоянных токов можно разделить на

две основные группы: средства измерений, основанные на определении падения напряжения на резисторе, который включен последовательно в цепь измеряемого тока и основанные на использовании магнитного поля, создаваемого измеряемым током.

Первая группа базируется на методах мер сопротивления (шунтовые), а вторая использует физические эффекты, возникающие в электромагнитном поле измеряемого тока. К числу последнего можно отнести такие методы измерений, как гальваномагнитный, метод ядерного-магнитного резонанса (ЯМР), магнитооптические, индукционные и электрометрические.

Все вышеперечисленные методы измерения в той или иной степени, в зависимости от конструкции и метрологических данных, применяются в народном хозяйстве. Они находят широкое применение в информационно-измерительной технике, в системах автоматического регулирования и управления, в преобразовательной технике и т.д. [1].

Часто для измерения больших постоянных токов используется с помощью мер сопротивления, основанных на измерении падения напряжения в сопротивлении при прохождении через него измеряемого тока. В качестве мер электрического сопротивления для измерения постоянных токов в производственных условиях используются шунты.

Шунт (рис.1) состоит из двух массивных медных наконечников 1, между которыми впаяны резистивные элементы 2, из манганина, выполненные в виде пластин или прудков. Падение напряжения на шунте снимается с потенциальных зажимов 3. Номинальное падение напряжения на калиброванных шунтах должно быть 60 или 75 мВ.

Основными характеристиками меры сопротивления являются входной ток и выходное напряжение, сопротивление самой меры [2].

По точности шунты разделяются на классы: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; и 0,5.

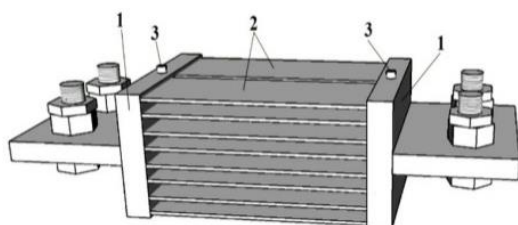


Рисунок 1. Шунт

Несмотря на такой класс точности измерения, рассматриваемый метод имеет ряд недостатков:

- для измерения необходимо разорвать электрическую цепь подключения шунта.
- наличие электрического контакта, что приводит к нагреванию и окислению при разнородных металлах.
- наличие гальванической связи, что не позволяет применить этот метод для измерения постоянных токов в цепях высокого напряжения.
- в течение эксплуатации, из-за потери в шунте, выделяется значительное тепло, которое приводит к появлению дополнительных погрешностей.

Достоинством этого метода измерения является независимость погрешности от внешних магнитных полей [3].

Один из других методов измерения больших постоянных токов является магнитомодуляционный. Этот метод на практике часто применяется для бесконтактного измерения, в котором преобразование входной величины осуществляется в результате воздействия со стороны дополнительного источника энергии на магнитные свойства применяемого магнитопровода. Преобразователи, выполненные на их основе, называются магнитомодуляционными. На (рис. 2) показаны конструкции дифференциального магнитомодуляционного преобразователя.

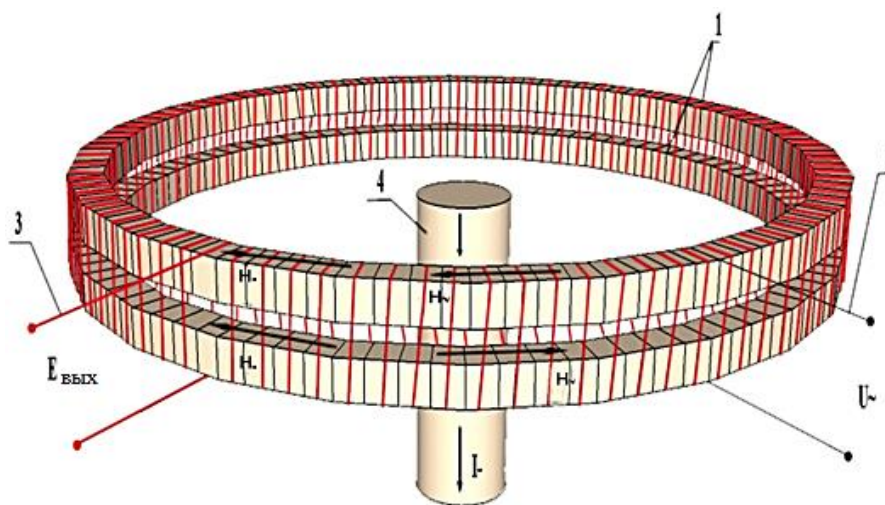


Рисунок 2. Конструкции дифференциального магнитомодуляционного преобразователя

Дифференциальный магнитомодуляционный преобразователь состоит:

Из двух параллельно расположенных тороидальных ферромагнитных колец (1), на этих кольцах расположены модулирующие равномерно намотанные обмотки (2), измерительная обмотка (3) охватывает оба тороидальных ферромагнитных колец на которых намотаны модулирующие обмотки, подключенные к источнику  $U_{\sim}$  переменного напряжения.

Принцип работы данного дифференциального магнитомодуляционного преобразователя состоит в следующем:

Если модулирующим обмоткам (2) подавать  $U_{\sim}$  переменное напряжение, то по этим обмоткам течет переменный  $i_{\sim}$  ток, который создает в объеме магнитопроводов (1) переменную напряженность магнитного поля  $H_{\sim}$  равное по величине и противоположное по направлению. При наличии в шине (4) измеряемого постоянного тока  $I$  создаёт в объеме магнитопроводов 1 постоянный напряженность магнитного поля  $H$  в объеме одного из магнитопроводов действует сумма напряженностей ( $H+H_{\sim}$ ), а в объеме другого разность ( $H-H_{\sim}$ ). Если тороидальные сердечники одинаковы, тогда можем написать

$$B_1 = B(H_+ H_-) \quad (1)$$

$$B_2 = B(H_- H_-) \quad (2)$$

где  $B_1$  и  $B_2$  плотность магнитных потоков в тороидальных сердечниках.

Наводимый э.д.с в измерительной обмотке определяется следующим выражением

$$e = -S w_3 \frac{d}{dt} (B_1 + B_2) \quad (3)$$

где  $w_3$  - количество витков измерительной обмотки,  $S$  - поперечное сечение тороидальных сердечников [4].

С целью определения выражения статической характеристики преобразователя (рис.1), необходимо определить аналитическое выражение кривого намагничивания тороидального ферромагнитного материала.

Для аппроксимации характеристик нелинейных элементов чаще применяются два метода: аппроксимация степенным полиномом и предложенная академиком А.И. Бергом кусочно-линейная аппроксимация.

В электрорадиотехнических устройствах, измерительной технике, а также в других областях науки и техники, с целью снижения остаточной магнитной индукции рекомендуется применять магнитомягкие материалы выполненные из электро-технической стали марки Э-330.

Для аппроксимации кривого намагничивания электротехнической стали марки Э-330  $B = f(H)$ , из которого изготовлен тороидальный сердечник дифференциального преобразователя, воспользуемся кусочно-линейной аппроксимацией.

Предлагается аппроксимировать кривое намагничивание суммой гиперболического тангенса и прямой с угловыми коэффициентами:

$$B = K_1 \operatorname{th} K_2 H + K_3 H \quad (4)$$

где  $K_1, K_2, K_3$  – коэффициенты аппроксимации.

$$e = W_3 S K_1 K_2 \omega H_{m\sim} \cos \omega t \left[ \frac{1}{\operatorname{Ch}^2 K_2 (H_- - H_{m\sim} \sin \omega t)} - \frac{1}{\operatorname{Ch}^2 K_2 (H_- + H_{m\sim} \sin \omega t)} \right]. \quad (11)$$

Амплитудная и действующая величины полученного выражения определяются следующим образом:

$$E_m = W_3 S K_1 K_2 \omega H_{m\sim} \left[ \frac{1}{\operatorname{Ch}^2 K_2 (H_- - H_{m\sim})} - \frac{1}{\operatorname{Ch}^2 K_2 (H_- + H_{m\sim})} \right]; \quad (12)$$

$$E = \frac{W_3 S K_1' K_2' \omega H_{m\sim}}{\sqrt{2}} \left[ \frac{1}{\operatorname{Ch}^2 K_2' (H_- - H_{m\sim})} - \frac{1}{\operatorname{Ch}^2 K_2' (H_- + H_{m\sim})} \right], \quad (13)$$

где  $K_1 K_2$  - коэффициенты аппроксимации, определяемые по (6) и (8):

$$K_1' = \frac{B_y}{\sqrt{2}} = \frac{K_1}{\sqrt{2}}; \quad (14)$$

$$K_2' = \frac{\sqrt{2}}{H_B} \operatorname{arth} \frac{B_B - H_B \operatorname{tg} \alpha}{B_y} = \sqrt{2} K_2. \quad (15)$$

Погрешность аппроксимации составляет не более 2%, что допустимо при проведении аналитических расчетов [5].

С целью определения выражения статической характеристики преобразователя (рис.1), разобьем условно его на две половины: на верхнюю и нижнюю. В момент времени, когда через обмоток возбуждения проходит переменный ток  $i_{\sim}$  он создаёт  $H_{\sim}$  переменную напряженность магнитного поля направление, показанное стрелкой в верхней части преобразователя, который совпадает с направлением напряженности магнитного поля  $H_{\sim}$ , созданный измеряемым током. В нижней половине элемента наоборот, направление  $H_{\sim}$  противоположно направлению  $H_{\sim}$ . Поэтому можно написать:

$$H_1 = H_{\sim} + H_{\sim}; \quad (5)$$

$$H_2 = H_{\sim} - H_{\sim}. \quad (6)$$

В следующий полупериод направление напряженности поля  $H_{\sim}$  меняется.

Подставляя (5) и (6) в (4), получим:

$$B_1 = K_1 \operatorname{th} K_2 (H_{\sim} + H_{\sim}) + K_3 (H_{\sim} + H_{\sim}); \quad (7)$$

$$B_2 = K_1 \operatorname{th} K_2 (H_{\sim} - H_{\sim}) + K_3 (H_{\sim} - H_{\sim}). \quad (8)$$

$$H_{\sim} = H_{m\sim} \sin \omega t. \quad (9)$$

при этом

$$H_{m\sim} = \frac{I_{m\sim} W_{\sim}}{l_{cp}}, \quad (10)$$

где  $H_{m\sim}, I_{m\sim}$  - амплитудные значения напряженности поля и тока возбуждения;

$W_{\sim}$  - число витков обмотки возбуждения дифференциального преобразователя;

$l_{cp}$  - средняя длина линии напряженности поля возбуждения дифференциального преобразователя.

Подставляя значения магнитных индукций (7) и (8) в (3) и используя (9), найдем



**Список литературы:**

1. Миловзаров В.П. Электромагнитные устройства автоматики.-М.: Высшая школа 1974-414 с.
2. С.А. Спектор. Измерение больших постоянных токов.-Л.:Энергия,1978.-136 с.
3. Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги РАСМИЙ АХБОРОТНОМА 10(246) сони Н бўлими / ЭЛЕКТР Н 01 (13) В / (21) IAP 2021 0341 / (22) 30.06.2021 / (51) G01R 19/00., // (71)(72) Савридинов Нукридин, Эшбоев Азамат Турақулович, Нажимидинов Зинабудинов Шамшидинович, Юлдашев Юсуф Тошпулатович, Корақулов Аслиддин Нуриддинович, UZ (54)., // Бирламчи контактсиз магнит-модуляцияловчи доимий ток ўзгартиргичи.
4. Савридинов Н. Аппроксимация кривого намагничивания ферромагнитных материалов / Н. Савридинов, А.Т. Эшбоев, З.Ш. Нажимидинов, А.Н. Корақулов // Қарши муҳандислик иқтисодиёт институти Инновацион технологиялар илмий техник журнал - 2021.-№ 3.- 60-62 бет.

## ЭНЕРГЕТИКА

DOI: 10.32743/UniTech.2023.115.10.16107

АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ РАССЕЙНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ  
ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ, ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ  
СОЛНЕЧНЫМИ ПАНЕЛЯМИ*Аъзамов Саидикром Саидмуродович**докторант**Андижанский машиностроительный институт,**Республика Узбекистан, г. Андижан**E-mail: [azamovsaidikrom1992@gmail.com](mailto:azamovsaidikrom1992@gmail.com)*ANALYSIS OF CONTROL AND MONITORING OF REACTIVE POWER DISSIPATION  
OF SINGLE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR GENERATED BY SOLAR PANELS*Saidikrom Azamov**Postdoctoral Student,**Andijan Machine-Building Institute**Republic of Uzbekistan, Andijan*

## АННОТАЦИЯ

Спрос на все виды энергии в мире и в нашей стране растет с каждым днем, в котором особое место занимает значение возобновляемых источников энергии, в том числе асинхронных двигателей, наиболее энергоемкого устройства среди потребителей электрической энергии, вырабатываемой из возобновляемых источников энергии. Изучение и внедрение асинхронных двигателей для производства альтернативной энергии является одним из актуальных вопросов. При подключении одно- и трехфазных асинхронных двигателей к возобновляемым источникам энергии в автономной и онлайн-системе потребляемая мощность преобразуется в сигнал через преобразователи электромагнитного тока в системе контроля и управления, а потребляемая электроэнергия преобразуется к первичному. Представлены результаты моделирования влияния величины и параметров изменения сигнала на физико-технические процессы, происходящие в передатчике, на основе конструкции коммутационного устройства.

## ABSTRACT

The demand for all types of energy in the world and in our country is increasing day by day, in which the importance of renewable energy sources occupies a special place. including asynchronous motors, the most power-consuming device among consumers of electric energy generated from renewable energy. study and introduction of asynchronous motors for production of alternative energy is one of the urgent issues. When one and three-phase asynchronous motors are connected to renewable energy sources in an off-line and on-line system, the power consumption is changed to a signal through electromagnetic current converters in the control and management, and the consumed electric power is converted to the primary. The results of modeling of the effects of signal change magnitude and parameters on the physical and technical processes taking place in the transmitter, based on the structure of the switching device, are presented.

**Ключевые слова:** потребители, напряжение, соединение звездой, ток статора, конденсаторная батарея, параллельное соединение, баланс мощности, несинусоидальность.

**Keywords:** consumers, voltage, star connected, stator current, capacitor battery, parallel connection, power balance, non-sinusoidal.

Сегодня для удовлетворения потребности населения в энергии в нашей стране, как и во всем мире, проводится ряд исследований и проектов, направленных на выработку экологически чистой, дешевой, качественной электроэнергии без использования первичной энергии. топлива и поставлять его населению, в том числе с использованием возобновляемой,

экологически чистой первичной энергии в регионах без использования первичной энергии, производить электроэнергию с использованием подходящих [1] солнечных, ветровых, биогазовых и других видов природных источников энергии и поставлять качественную электроэнергию потребителям произведенной электроэнергии, принимая во внимание

окружающую среду в местах, близких к потребителям, таких как ветряные и солнечные электростанции, и необходимо использовать современные технологии в правильном выборе проводящих материалов, а также в контроле и управлении отходы в устройствах, в том числе контроля и управления реактивной мощностью в асинхронных двигателях, широко используются электромагнитные преобразователи тока, [2-3] наиболее распространенные в промышленности асинхронные двигатели вырабатывают электроэнергию с учетом того, что они потребляют 60%-65% энергии, мы изучили анализ физико-технических процессов в нем, в результате анализа, после аккумуляции и инвертирования асинхронного двигателя, подключения асинхронного двигателя к сети (Y), мы переключили его на одну фазу, подключив его по схеме

звезда, Выбирая конденсаторные батареи для двигателя мощностью 250 кВт мы использовали следующий метод:

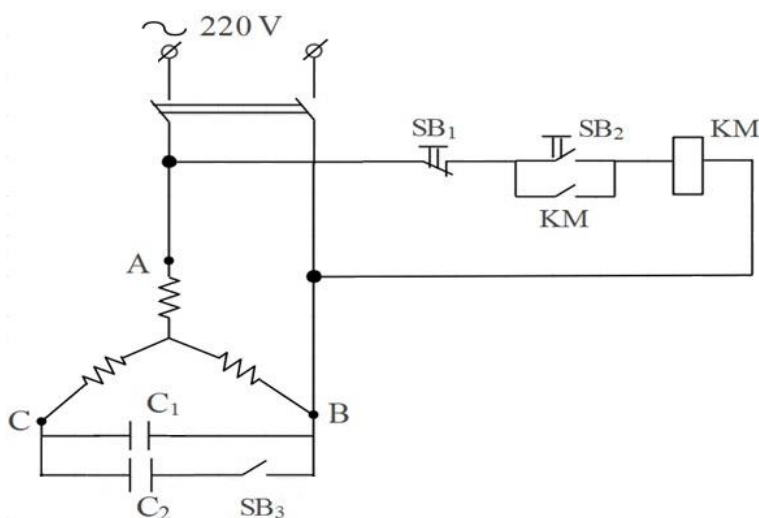
$$C_1 = 2860 \frac{I_1}{U_1} = \frac{0,86A}{220V} = 11,18 \text{ [мкф]}$$

C<sub>1</sub>- рабочий конденсатор (1)

$$C_2 = 2860 \frac{I_1}{U_1} = \frac{0,86}{220} = 10,71 \text{ [мкф]}$$

C<sub>2</sub>- пусковой конденсатор (2)

Мы подключили две выбранные конденсаторные батареи параллельно между фазами асинхронного двигателя В и С. [4-5]



**Рисунок 1. Схема**

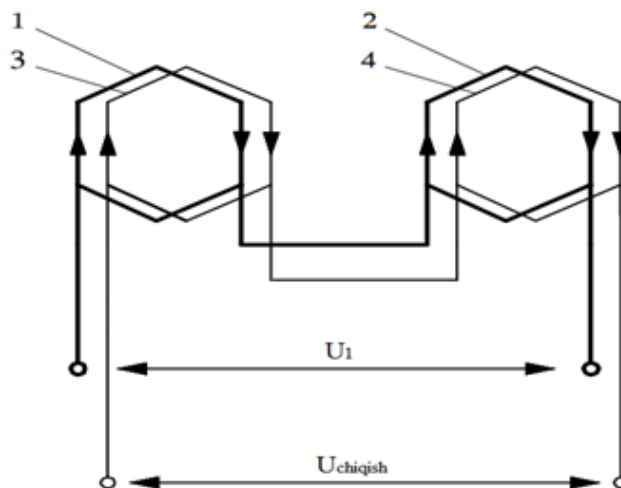
Соединение звездой или треугольником обмоток статора асинхронного двигателя широко применяется в промышленности, можно подавать напряжение 127/220 или 220/380В в двух напряжениях сети асинхронного двигателя с коэффициентом  $\sqrt{3}$  Для подключения использован метод звезды. к сети возобновляемого источника энергии и запустил асинхронный двигатель с помощью конденсаторных батарей, асинхронный двигатель работал в однофазном нормальном режиме, в асинхронных двигателях с питанием от возобновляемого источника возникает асимметрия амплитуд, возникают фазовые угловые несимметрии, что в свою очередь приводит к несимметрии магнитных токов в вигателе [6-7].

$$\begin{aligned} \Phi_A(\theta, t) &= \frac{1}{2} \Phi_m \{ \sin(\theta - \omega t) + \sin(\theta + \omega t) \} \\ \Phi_B(\theta, t) &= \frac{1}{2} \Phi_m \left\{ \sin(\theta - \omega t) + \sin\left(\theta + \omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \right\} \\ \Phi_C(\theta, t) &= \frac{1}{2} \Phi_m \left\{ \sin(\theta - \omega t) + \sin\left(\theta + \omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

В выражении  $\theta$  – угол между магнитным потоком и током статора,  $\Phi_m$  – основной магнитный поток.

Для измерения реактивной мощности, рассеиваемой асинхронным двигателем, в зазор между клиньями в пазах статора поместили проволочную катушку, аналогичную параметрам проводов статора. Исследовали возможность предотвращения аварии, которая может произойти при работе асинхронного двигателя путем определения несинусоидального характера потребляемой мощности и потери нозиметрии [8-9].

В асинхронном двигателе, питаемом от возобновляемого источника энергии, по определенным причинам возникают также несинусоидальные токи из-за токов высших и низких гармоник, образующихся преимущественно в статоре, в результате нарушения четных и нечетных гармоник. Благодаря тому, что в магнитном поле устройства компенсируются даже гармонические токи, их влияние практически отсутствует. Высокие гармоники в основном вызывают перегрев асинхронных двигателей и снижение коэффициента активной мощности [10-11].

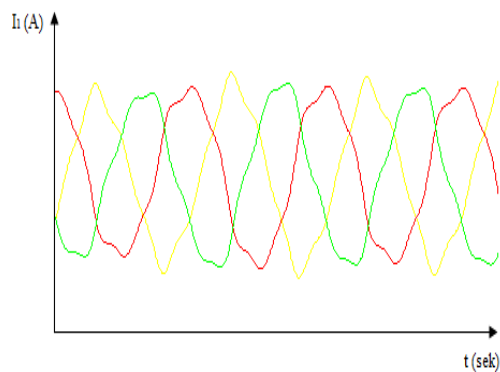


**Рисунок 2. Размещение преобразователя тока в соответствии с возвратом лопаток статора асинхронного двигателя 1, 2, 3, 4 в пазы лопаток статора,  $U_1$  – выходное напряжение**

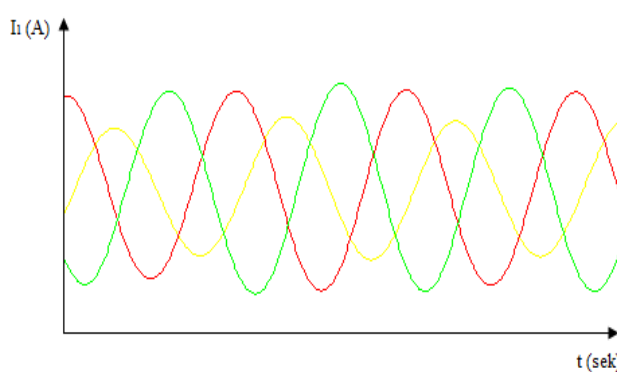
Асинхронный двигатель размещен в клиньях в соответствующем порядке с трансформаторами трехфазного тока и катушками статора. Сигнал выходного напряжения трансформатора тока представляет собой ток статора. Сигнал выходного напряжения зависит от основного магнитного потока и магнитного потока рассеяния, а также количества обмоток трансформатора тока. Преимущества этого трансформатора тока перед другими заключаются в возможности

измерения паразитного магнитного тока в асинхронных двигателях, простоте и дешевизне [12-13].

При оценке асимметрии и несинусоидальности асинхронного двигателя по информации, полученной из выходного сигнала исследуемого нами преобразователя электромагнитного тока, одним из наиболее выгодных аспектов считается возможность управления КПД двигателя, устройства и потери мощности.



a)



b)

**Рисунок 3. Несинусоиды и асимметрия в фазе А при подаче возобновляемой энергии на асинхронный двигатель**

На рисунках а и б показаны несинусоиды и асимметрия в фазе А при подаче возобновляемой энергии на асинхронный двигатель [14].

Можно сделать вывод, что при оценке неприятных ситуаций, возникающих в асинхронном двигателе с помощью электромагнитных трансформаторов тока, размещенных в пазах статора асинхронного двигателя, самым важным является увеличение энергопотребления, сгорание статора двигателя,

механическое состояние устройства, если полагаться на информацию, полученную от трансформатора тока, возможность оценить неисправность считается одним из наиболее выгодных аспектов трансформатора тока. Этот преобразователь электромагнитного тока может использоваться во всех типах асинхронных двигателей, работающих на возобновляемом и условном топливе.

**Список литературы:**

1. Siddiqov I.X., Boyxonov Z.U., Karimjonov D.D. Elements And Devices For Monitoring And Control of Energy Efficiency. The American Journal of Engineering and Technology (ISSN – 2689-0984) Published: September 29, 2020 | PaGES: 136-148.
2. Siddiqov I.X., Boyxonov Z.U., Maxsudov M.T., Uzoqov R. Features productions reactive power on systems electrical supply with renewable sources energies. Academicia: an international multidisciplinary research journal vol.10, issue 6, June 2020 PaGES:292-29.
3. Siddiqov Ilhom Hakimovich, Denmuxammadiyev Aktam mavlonovich, A'zamov Saidikrom Saidmurodovich // Research of energy consumption control renewable energy source by consumers <https://doi.org/10.5281/zenodo.7783839>. 2023.
4. Siddikov I. Kh., Denmuxammadiyev A.M, A'zamov S.S. "Investigation of electromagnetic current transformer performance characteristics for measuring and controlling the reactive power dissipation of shortcircuited rotor asynchronous motor. //Scientific and technical journal of NamIET. (ISSN 2181-8622) June 2023. 136-141. <http://niet.uz/index.php/nj/article/view/46>
5. Эгамов Д.А., Узakov Р., Бойхонов З.У Способы обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей, имеющих одну систему шин 6-10 кВ и два независимых источника питания 6-10 кВ // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. № 3. С. 155-159. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/egamov-uzakov> (дата обращения 15.03.2018).
6. Сиддиков И.Х., Махсудов М.Т., Боиханов З.У. угли, Схема замещения и анализ работы асинхронного двигателя при потреблении реактивной мощности. Главный энергетик №7 2021. 2021;7.
7. Махсудов М.Т., Анарбаев М.А., Сиддиков И.Х. Электромагнитные преобразователи тока для управления источниками реактивной мощности // Universum: Технические науки : электрон. научн. журн. 2019. № 3(60). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/7095>
8. Аъзамов Саидикром Саидмуродович/Улучшение механической прочности электрических проводов высокого напряжения [indiceshttps://www.researchgate.net/profile/Avazbek-Khoshimov/publication/363535494\\_UNIVERSUM\\_TEHNICESKIE\\_NAUKI/links/6321737a873eca0c0086e64a/UNIVERSUM-TEHNICESKIE-NAUKI.pdf#page=47](https://www.researchgate.net/profile/Avazbek-Khoshimov/publication/363535494_UNIVERSUM_TEHNICESKIE_NAUKI/links/6321737a873eca0c0086e64a/UNIVERSUM-TEHNICESKIE-NAUKI.pdf#page=47) // doi - 10.32743/unitech.2021.86.5.11740
9. I. Petrova, V. Zaripova, Yu. Lezhnina, I.Kh. Siddikov. Automated system for synthesis of sensors for smart cities. XXII International Scientific Conference on Advanced In Civil Engineering "CONSTRUCTION THE FORMATION OF LIVING ENVIRONMENT", Tashkent, Uzbekistan, 18-21 April, 2019 E3S Web of Conferences eISSN: 2267-1242. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.085067281218&origin=resultslist>.
10. Сиддиков И.Х., Анарбаев М.А., Махсудов М.Т. Преобразователи сигнала величины тока для систем управления источниками реактивной мощности // Инженерно- строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. № 1 (23). С. 53–56.
11. Siddikov I. Kh., Khakimov M. Kh., Anarbaev M., Bedritskiy I.M. Research of the electromagnetic transducers of the primary current to secondary voltage // Science and Education. Materials of the II International Research and practice conference. Vol. I, Publishing office of «Vela Verlag Waldkraiburg», Munich. Germany. December. 18–19. 2012. P. 222–225.
12. Siddikov I.K., Sattarov Kh.A., Khujamatov Kh.E., Dekhkonov O.R. Agzamova M. Modeling of Magnetic Circuits of Electromagnetic Transducers of the Three-phases Current //2018 14th International Scientific - Technical Conference On Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (Apeie) Proceedings. In 8 Volume Part 5 Новосибирск 2018.
13. Сиддиков И.Х., Аъзамов С.С., Тожибоев Ж.Б. Возобновляемый источник энергии систем электроснабжения истраченной реактивной мощностью и управление элементарным улучшением / Siddikov I.H., Azamov S.S., Tozhiboev Zh.B. Renewable energy source of power supply systems with expired reactive power and management of elementary improvemen ПРОСВЕЩЕНИЕ И ПОЗНАНИЕ 2022. № 9 (16) НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ст. 3-10.
14. Modelling of the asymmetrical quantities of asynchronous motors reactive powers supply on the basis of current transducers Siddikov Ilhomjon Hakimovich, Boikhanov Zailobiddin Urazalai o'g'li, A'zamov Saidikrom Saidmurodovich// Andijon mashinasozlik instituti mashinasozlik ilmiy-texnika jurnali varoq-143-152.

DOI: 10.32743/UniTech.2023.115.10.16120

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ВОДЕ  
НА ГИДРОАБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС ТУРБИН БОЗСУЙСКОЙ ГЭС****Кан Эдуард Климентиевич**

канд. техн. наук,  
Национальный исследовательский университет  
«Ташкентский институт инженеров ирригации  
и механизации сельского хозяйства» (НИУ ТИИИМСХ),  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [Kan\\_E1969@mail.ru](mailto:Kan_E1969@mail.ru)

**Ярбеков Мансур Собир угли**

инженер,  
Национальный исследовательский университет  
«Ташкентский институт инженеров ирригации  
и механизации сельского хозяйства» (НИУ ТИИИМСХ),  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [mansuryarbekov4@gmail.com](mailto:mansuryarbekov4@gmail.com)

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF MECHANICAL IMPURITIES IN WATER  
ON THE HYDROABRASIVE WEAR OF THE TURBINES  
OF THE BOZSU HYDROELECTRIC POWER PLANT****Eduard Kan**

Candidate of Technical Sciences,  
Tashkent institute of irrigation and agricultural  
mechanization engineers" National research university,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Mansur Yarbekov**

Engineer  
Tashkent institute of irrigation and agricultural  
mechanization engineers" National research university,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**АННОТАЦИЯ**

Особенностью эксплуатации гидроэнергетических объектов в Республике Узбекистан является то, что оборудование работает с жидкостями, содержащими большое количество механических примесей. Целью исследования является оценка влияния концентрации механических примесей в воде, проходящей через проточную часть гидротурбин, на гидроабразивный износ. Для оценки гидроабразивных свойств жидкости с примесями был проведен анализ гранулометрического и минералогического состава отложений и особенно тех фракций примесей, которые представляют гидроабразивную опасность. Для воды, проходящей через турбины Бозсуйской ГЭС, это фракции полевого шпата и кварца. Большую часть механических примесей составляют минералы полевого шпата (58,46% при среднем диаметре 0,093 мм). Общее содержание опасных фракций (полевого шпата и кварца) составляет 77,07% или 0,3-0,4 кг/м<sup>3</sup>, что превышает предельно допустимую норму (0,2 кг/м<sup>3</sup>). Но в то же время никаких опасных фракций по размеру (диаметром более 0,25 мм) обнаружено не было. Натурное обследование проточной части турбины показало наличие гидроабразивного износа. Тип гидроабразивного износа - мелкозернистый износ с редкими, отдельно расположенными, неглубокими чешуйками и глубокий (углубленный) тип износа с длинными канавками.

**ABSTRACT**

The peculiarity of the operation of hydropower facilities (pumping stations and hydroelectric power plants) in the Republic of Uzbekistan is that the equipment works with liquids containing a large amount of mechanical impurities. The purpose of the research is to assess the effect of the content of mechanical impurities in water on waterjet wear. The object of research is the Bozsui HPP (Uzbekistan). To assess the hydroabrasive properties of a liquid with impurities, an analysis of the granulometric and mineralogical composition of sediments and especially those fractions of impurities

that pose a danger was carried out. For water passing through the turbines of the Bozsuy HPP, these are fractions of feldspar and quartz. Most of the composition of mechanical impurities are feldspar minerals (58.46 % with an average diameter of 0.093 mm). The total content of hazardous fractions (feldspar and quartz) is 77.07 % or 0.3-0.4 kg/m<sup>3</sup>, which exceeds the maximum permissible norm (0,2 kg/m<sup>3</sup>). But at the same time, no dangerous fractions in diameter (more than 0.25 mm) were detected. A full-scale inspection of the turbine parts showed that waterjet (hydroabrasive) wear is present. The type of waterjet wear is fine-scaled wear with rare, separately located, shallow scales and deep (deep) type of wear with long grooves.

**Ключевые слова:** наносы, гидроабразивный износ, гидротурбина, гидроэлектростанция, гранулометрический состав.

**Keywords:** sediments, hydroabrasive wear, hydro turbine, hydroelectric power plant, granulometric composition.

## Введение

Проблема повышения эффективности является одной из наиболее актуальных в области гидроэнергетики. На эффективность оборудования гидроэнергетических объектов влияет большое количество различных факторов, среди которых одним из основных является наличие большого количества механических примесей в перекачиваемой воде [4, 8]. Механические примеси в виде наносов и отложений значительно усложняют и ухудшают работу гидроэлектростанций. Например, согласно исследованиям А. Abgottsson и др. [6], КПД турбин Пелтона в сезоны с большим количеством наносов снижается на 0,4-1,0%. Турбины (проточная часть) таких гидроэлектростанций в той или иной степени страдают от абразивного воздействия наносов, требуют значительных затрат на борьбу с негативным воздействием наносов и поддержание турбин в рабочем состоянии [1, 2, 3]. Поэтому, при проектировании и эксплуатации турбин ГЭС крайне важно оценить абразивную способность механических примесей в речной воде, которая будет проходить через гидроэлектростанции, и спрогнозировать степень опасности этих отложений для гидротурбин. При достаточно значительном воздействии этих отложений техническое состояние турбин быстро ухудшается, снижается их КПД и увеличиваются потери мощности на гидроэлектростанциях и, соответственно, выработка электроэнергии [1, 4, 6, 7, 8, 9]. Теорией гидроабразивного износа гидромашин занимались многие выдающиеся ученые [9], но хотелось бы отдельно упомянуть В.Б. Дульнева и В.Я. Карелина, внесших значительный вклад в изучение этого явления применительно к условиям Центральной Азии [2,3].

*Целью исследования* является изучение состава механических примесей и оценка их влияния на гидроабразивный износ турбин Бозсуйской ГЭС. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- Сбор, обработка и анализ данных службы эксплуатации ГЭС.
- Оценка гидроабразивных свойств воды в водосточнике и воды, проходящей через проточную часть гидротурбины.
- Определение типа и природы гидроабразивного износа деталей гидротурбины.

## Методология исследований

Методы исследования включают: сбор, обработку и анализ данных службы эксплуатации ГЭС, натурное обследование объекта, обобщение и научный анализ имеющегося и опубликованного материалов. Бозсуйская ГЭС расположена в пределах г. Ташкента и является первенцем гидроэнергетики Республики Узбекистан. Первый энергоблок станции был введен в эксплуатацию в 1926 году, вся станция была введена в эксплуатацию в 1937 году [1].

Под гидроабразивным износом обычно понимают разрушение деталей проточной части гидромашин в результате механического воздействия твердых частиц в воде [2, 3, 5]. Разрушение происходит из-за непрерывных столкновений переносимых потоком твердых частиц с поверхностью детали. В момент удара кинетическая энергия движущейся частицы преобразуется в работу деформации материала детали, обтекаемой потоком [2, 3, 5].

Не все отложения переносимые потоком, а только те частицы, твердость которых превышает твердость материалов деталей проточной части турбин, представляют реальную опасность для гидротурбин [2, 3]. Детали турбин обычно изготавливаются из углеродистой стали, твердость которой (по шкале Мооса) составляет 5-5,5. Следовательно, оценка абразивной способности примесей практически может быть проведена путем учета только тех минералов в составе этих отложений, твердость которых равна 5 и выше.

## Результаты и обсуждения

Гранулометрический состав механических примесей (наносов) был проанализирован в соответствии данными проб донных отложений канала Бозсу (по данным АО "Гидропроект") в верхнем бьефе гидроэлектростанции (перед напорным бассейном) 27 августа 2015 года и в нижнем бьефе 2 сентября 2015 года [1].

Результаты определения среднего диаметра механических примесей в воде представлены в таблице 1.

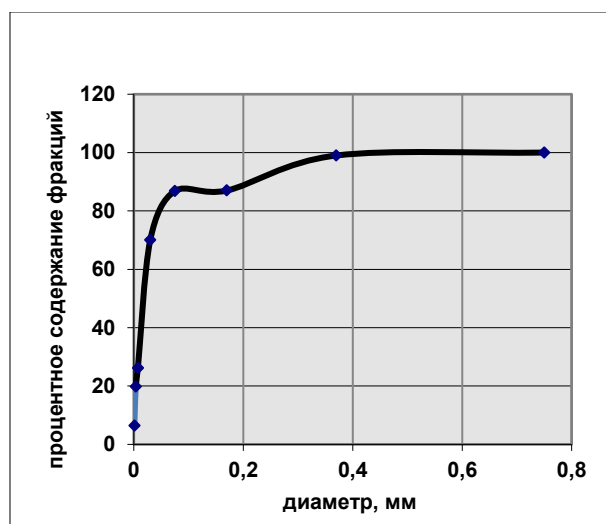
Таблица 1.

**Гранулометрический состав донных отложений в верхнем и нижнем бьефах гидроузла**

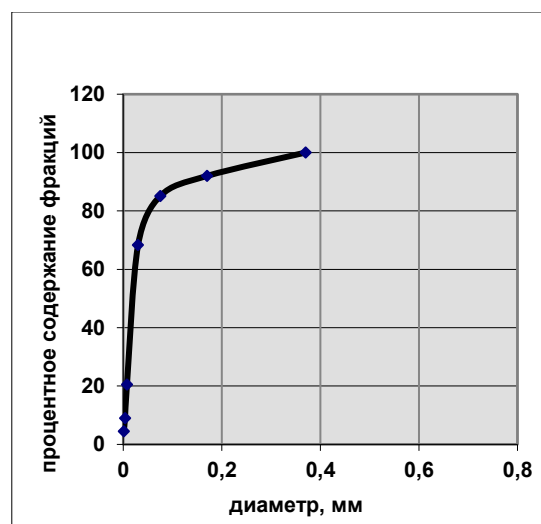
d, мм	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,1	0,10 - 0,05	0,05 - 0,01	0,01- 0,005	0,005-0,002	<0,002	D <sub>сред</sub> , мм
сброс воды в Ташкентский канал									
P, %	0,9	12,4	12,0	7,1	35,0	12,8	13,4	6,4	0,09
P*d <sub>i</sub>	0,675	4,588	2,04	0,532	1,05	0,096	0,0469	0,0064	
Канал Нижний Бозсу- Нижне-Бозсуйская ГЭС № 1									
P, %		8	6,9	16,8	47,8	11,5	4,5	4,5	0,069
P*d <sub>i</sub>		2,96	1,173	1,26	1,434	0,0862	0,0157	0,0045	
Канал Бозсу – нижний бьеф Актепинской ГЭС									
P, %	11,3	52,9	24,0	11,8					0,33
P*d <sub>i</sub>	8,475	19,573	4,08	0,885					

На рисунке 1 показаны интегральные кривые гранулометрического состава донных отложений

в водотоках Бозсуйской ГЭС, построенные по имеющимся данным фракционного состава (таблица 1).



а)



б)

**Рисунок 1. Интегральные кривые гранулометрического состава донных отложений в водотоках Бозсуйской ГЭС в верхнем (а) и нижнем бьефах (б)**

В таблице 2 показан минералогический и петрографический состав механических примесей, которые проходят через турбины и участвуют в гидроабразивном износе.



Таблица 2.

**Минералогический и петрографический состав отложений канала Бозсу (ниже по течению) [1]**

размер фракции, мм	содержание фракции, %	содержание карбоната в % на фракцию	кварц	полевой шпат	слюда (блестящая)		обломки скал		
					мусковит, биотит	хлорит	изверженные	метаморфические сланцы	кремнистая порода
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
< 0,002	Нет фракций								
0,005 – 0,002	Нет фракций								
0,01 – 0,005	Нет фракций								
0,05 – 0,01	4,58	26,32	1,17	2,62	0,055	0,018	0,17	0,092	0,096
0,10 – 0,05	38,14	27,19	10,91	20,25	0,53	0,27	2,49	0,53	0,46
0,25 – 0,10	38,52	18,4	4,66	27,39	0,54	0,19	0,77	1,04	1,04
0,5 – 0,25	17,80	26,4	1,85	8,19	0,64	0,18	1,78	0,36	0,43
1,0 – 0,5	0,96	19,4	0,02	0,013	0,15	0,021			0,021
2,0 – 1,0	Нет фракций								
5,0 – 2,0	Нет фракций								
Содержание	100	100	18,61	58,463	1,915	0,679	5,21	2,022	2,047

размер фракции, мм	содержание фракции, %	амфибол, пироксен	рудный минерал гематит	фрагменты смолы	углеродсодержащее вещество	глиняный материал	остатки растительности
1	2	11	12	13	14	15	16
< 0,002	Нет фракций						
0,005 – 0,002	Нет фракций						
0,01 – 0,005	Нет фракций						
0,05 – 0,01	4,58	0,018	0,046		0,04	0,23	0,0188
0,01 – 0,05	38,14	0,15	0,27	0,15	0,34	1,64	0,15
0,25 – 0,10	38,52	0,12	0,19	0,19	0,27	1,73	0,39
0,5 – 0,25	17,80	0,053	0,053	0,034	1,87	1,78	0,58
1,0 – 0,5	0,96			0,051	0,17	0,064	0,45
2,0 – 1,0	Нет фракций						
5,0 – 2,0	Нет фракций						
Содержание	100	0,341	0,559	0,425	2,69	5,444	1,5888

Анализ данных, приведенных в таблице 2, показывает, что русловые наносы в верхнем бьефе ГЭС-1, в основном, представлены илистыми (пылевидными) частицами с фракциями диаметром  $d=0,1-0,01$  мм. А ниже ГЭС - как частицами песка в котором фракции  $d=1,0-0,1$  мм составляют 57,3%, так и илистыми частицами - 42,7 %. В минералогическом составе преобладают фрагменты минералов – 80,6%, фрагменты горных пород составляют 9,3%. Из минералов преобладает полевой шпат – 58,5%.

Содержание кварца во фракциях алевrolита (0,05-0,1 мм) и песка (0,10-1,0 мм) колеблется от 12,1 до 6,5%.

В таблице 3 представлены обобщенные характеристики механических примесей (взвешенных) отложений в воде, проходящей через проточную часть турбин Бозсуйской ГЭС, которые могут быть использованы при анализе и прогнозировании гидробра- зивного износа деталей гидротурбин.

Таблица 3.

## Общая характеристика взвешенных наносов

Характеристики взвешенных отложений	Содержание частиц диаметром 0,1 - 0,05 мм составляет 30,4%.
Среднегодовая мутность воды, г/м <sup>3</sup>	До 4-5 г/л
Гранулометрический состав наносов	Содержание частиц диаметром 0,05 - 0,01 мм составляет 61,2%.
Гранулометрический состав отложений	Содержание кварца в частицах диаметром 0,05-0,01 мм колеблется от 12,1 до 6,5%.
Химический состав воды и ее характеристики	По химическому составу вода имеет среднюю минерализацию.

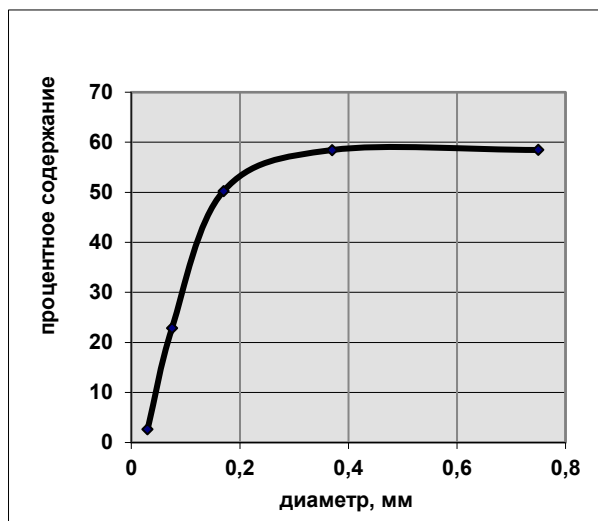
Таблица 4.

## Гранулометрический состав гидроабразивных наносов

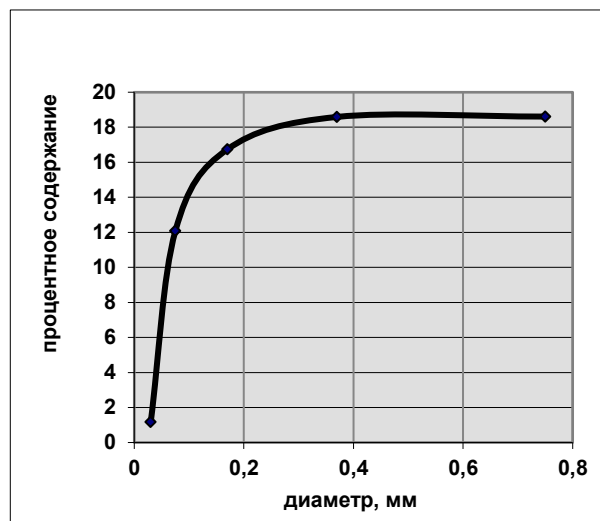
d, мм	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,1	0,10 - 0,05	0,05 - 0,01	0,01- 0,005	0,005-0,002	<0,002	D <sub>сред</sub> , мм
Полевой шпат									
P, %	0,013	8,19	27,39	20,25	2,62				0,093
P*d <sub>i</sub>	0,0097	3,0303	4,6563	1,5187	0,0786				
Кварц									
P, %	0,02	1,85	4,66	10,91	1,17				0,023
P*d <sub>i</sub>	0,015	0,6845	0,7922	0,8182	0,0351				

В таблице 4 представлен гранулометрический состав наносов, представляющих гидроабразивную опасность, а на рисунке 2 показаны интегральные кривые гранулометрического состава этих фракций

(полевого шпата и кварца), построенные в соответствии с имеющимися данными о фракционном составе.



а)



б)

Рисунок 2. Интегральные кривые гранулометрического состава абразивных частиц в воде (полевого шпата (а) и кварц (б))

В соответствии с существующей классификацией [2,3] мутность канала Бозсу можно отнести к зоне III (с высокой мутностью речных вод (150-500 г/м<sup>3</sup>)). То есть существует риск износа при гидроабразивном воздействии.

Проведем оценку состава механических отложений на предмет их гидроабразивных свойств.

Риск абразивного износа возможен при следующих условиях [2,3] когда содержание осадка в потоке

превышает 0,5 кг/м<sup>3</sup> и если количество фракций, опасных для турбин, составляет не менее 0,2 кг/м<sup>3</sup>. По размерам считаются опасными фракции с диаметром частиц 0,25 мм и более для абразивных частиц (кварц) и не менее 0,4 мм для более мягких частиц. Анализ таблиц 2-3 показывает, что в составе воды, проходящей через турбины, присутствуют минералы различной абразивности. Наибольшую опасность для гидравлических машин представляют

частицы, твердость которых превышает твердость материалов деталей проточной части гидротурбины (твердость по шкале Мооса 5-5,5). Большую часть состава механических примесей, как видно из таблиц 2-3, составляют минералы полевого шпата (58,46% при среднем диаметре 0,093 мм). Полевой шпат имеет твердость по шкале Мооса 5-7 баллов и может быть отнесен к породам средней абразивности. Кварцевые породы (твердость по шкале Мооса более 7) обладают средней и высокой степенью абразивности и составляют вторую группу минералов по содержанию (18,61% от общей массы всего образца при среднем диаметре 0,023 мм). Таким образом, общее содержание опасных фракций (полевого шпата и кварца) составляет 77,07% или 0,3-0,4 кг/м<sup>3</sup>, что превышает предельно допустимое содержание. Но, в то же время, никаких опасных фракций по размеру (диаметром более 0,25 мм) обнаружено не было.

Как показывает практика, при эксплуатации гидротурбин в условиях гидроабразивного износа наиболее интенсивно подвергаются воздействию передние части лопаток рабочего колеса, наружная часть направляющих лопаток и внутренняя часть корпуса [2, 3, 7]. Натурное обследование изношенных деталей гидротурбин (лопасти рабочего колеса, направляющие лопатки) позволило классифициро-

вать тип гидроабразивного износа. Характер повреждений лопастей указывает на мелкозернистый износ с редкими, отдельно расположенными, неглубокими чешуйками и глубокий (углубленный) тип износа с длинными канавками. Что свидетельствует о наличии гидроабразивного износа деталей турбин гидроэлектростанции Бозсу. Количественно и качественно этот гидроабразивный износ можно отнести к износу низкой и средней активности.

### Заключение

Анализ приведенного выше материала по гидроабразивному износу оборудования Бозсуской ГЭС-1 позволяет нам сделать следующее заключение:

1. Несмотря на относительно незначительную мутность воды, проходящей через проточную часть турбины, в составе содержатся минералы со средней и высокой степенью абразивности (полевого шпата более 50,5% и кварц -18,6% от общего количества твердых примесей).
2. Тип гидроабразивного износа - мелкозернистый износ с редкими, отдельно расположенными, неглубокими чешуйками и глубокий тип износа с длинными канавками. Количественно и качественно гидроабразивный износ турбин можно отнести к низкой и средней степени износа.

### Список литературы:

1. Донаева С. Исследование гидроабразивного износа гидротурбин на ГЭС Бозсу: дис. ... магистр техн. наук. - Ташкент, 2021, ТГТУ. - 85 с.
2. Дульнев В.Б. Абразивный износ радиально-осевых гидротурбин и методы борьбы с ним. - Л.:Госэнергоиздат, 1962.- 62 с.
3. Карелин В.Я. Износ лопастных гидромашин из-за кавитации и отложений. - Москва, "Машиностроение", 1970. - 184 с.
4. Мамажанов М., Уралов Б., Хидиров С. Влияние гидроабразивного износа деталей центробежных и осевых насосов на эффективность эксплуатации оросительных насосных станций // Иригация и мелиорация. – 2019. - № 1(15). – с. 36-41.
5. Штерцер А.А., Гринберг Б.Е. Воздействие гидроабразивной струи на материал: гидроабразивный износ // Прикладная механика и техническая физика.- 2013.- т. 54, № 3. – с. 191-201.
6. Abgottspon A., von Burg M., Staubli T., Felix D. Analysis of hydro-abrasive erosion and efficiency changes measured on the coated Pelton turbines of HPP Fieschertal // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (30<sup>th</sup> IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems).- 2021.- 774, 012030.
7. Arora N., Kumar A., Singal S. Technological advancement in measurements of suspended sediment and hydraulic turbine erosion // Measurement. – 2022. - 190, 110700, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110700>.
8. Kan E., Vatin N. Consumption of Irrigation Pumps Pumping Water with a High Content of Mechanical Impurities // E3S Web of Conferences. - 2023. - 365, 0301, DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336503011>.
9. Truscott G.F., A literature survey on abrasive wear in hydraulic machinery // Wear, - 1972. Volume 20, Issue 1, pp. 29-50, [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(72\)90285-2](https://doi.org/10.1016/0043-1648(72)90285-2).

## PAPERS IN ENGLISH

## COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

DOI: 10.32743/UniTech.2023.115.10.16028

## UZROBERTA: AN UZBEK LANGUAGE PRE-TRAINED MODEL

**Fatima Adilova**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Laboratory V.I. Romanovsky Institute  
of Mathematics of the Academy of Sciences  
of the Republic of Uzbekistan,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent  
E-mail: [fatadilova@matinst.uz](mailto:fatadilova@matinst.uz)*

**Rifqat Davronov**

*Ph.D., Senior Researcher V.I. Romanovsky  
Institute of Mathematics of the Academy  
of Sciences of the Republic of Uzbekistan,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent  
E-mail: [rifqat.davronov@mathinst.uz](mailto:rifqat.davronov@mathinst.uz)*

**Ruzmat Safarov**

*Junior Researcher,  
V.I. Romanovsky Institute of Mathematics  
of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent.  
E-mail: [safarovruzmat95@gmail.com](mailto:safarovruzmat95@gmail.com)*

## UZROBERTA: МОДЕЛЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ УЗБЕКСКОМУ ЯЗЫКУ

**Адилова Фатима Туйчиевна**

*д-р техн. наук, профессор,  
зав. лаборатории, Институт Математики  
им В.И. Романовского АН Республики Узбекистан,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**Давронов Рифкат Рахимович**

*канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,  
Институт Математики им В.И. Романовского  
АН Республики Узбекистан,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**Сафаров Рuzмат Абдикаюм угли**

*мл. науч. сотр.,  
Институт Математики им В.И. Романовского  
АН Республики Узбекистан,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

## ABSTRACT

This paper presents the Uzbek Language Understanding Evaluation (UzLUE) framework, an acronym for UzLUE. UzLUE is a test for assessing natural language understanding in Uzbek, encompassing tasks such as message categorization. This was constructed from a wide-ranging source corpus, while ensuring copyright compliance, to guarantee its broad accessibility. We leverage this with UzLUE-RoBERTa, a pre-established language model, aiming to make the base model in UzLUE more reproducible and to encourage subsequent studies. Our findings show that the UzLUE-RoBERTa-base surpasses other benchmark models, including those that are multilingual.

## АННОТАЦИЯ

В статье представлена система оценки понимания узбекского языка (UzLUE). UzLUE является тестом для оценки понимания естественного языка на узбекском языке, в который включили задачу категоризации сообщений. UzLUE был создан на основе обширного корпуса источников, гарантируя при этом соблюдение авторских прав и широкую доступность. Для этого тест UzLUE мы реализовали на основе RoBERTa, заранее созданной языковой модели, в результате чего получили более воспроизводимую базовую модель UzLUE-RoBERTa для стимулирования последующих исследований. Наши результаты показывают, что UzLUE-RoBERTa превосходит другие бенчмарк модели, в том числе, многоязычные.

**Keywords:** uzRoberta, masked language model, pre-train, latin-cyrillic script alphabet, bert, transformers.

**Ключевые слова:** uzRoberta, модель маскированного языка, pre-train, латиница-кириллица, bert, трансформеры.

## Introduction

Pretrained language models based on transformers [2], have achieved cutting-edge results in a range of natural language processing (NLP) applications. Examples of publicly available models for high-resource languages include BERT [3] and RoBERTa [4]. However, there aren't many models of the same-language quality that are comparable to Uzbek because it has limited resources.

The multilingual BERT [2], XLM [5], and XLM-R [6] systems are designed to move knowledge from languages with abundant resources to those with scarce resources. It has received training in a number of languages, including Uzbek. In zero-shot cross-language model transfer, these multilingual models produce impressive results, but in future assignments, they underperform their monolingual counterparts. High-memory GPUs are needed to fine-tune multilingual models since they have more vocabulary and parameters than single-language models. Monolingual models have been pre-trained and made available for a variety of languages as a result.

The first published Uzbekistan model built on the RoBERTa architecture is presented in this article. Language resources are scarce in Uzbek. Public language models, tagged datasets, and even sizable amounts of unprocessed text are lacking. We start by generating 300 million word high-quality message corpus. The model is then pre-trained, and we give it the UzRoBERTa basis name. We use the multilingual xlm-roberta-base and distilbert-base-multilingual-cased to measure model performance and assess the usefulness of fine-tuned BERT models in categorization. According to our comparison, UzRoBERTa base performs significantly better on this metric than xlm-Roberta-base and distilbert-base-multilingual-cased.

## Previous work

It has been attempted to create word embeddings for Uzbek. Over 100 languages, including Uzbek, have been trained embeddings using Wikipedia [7]. The 100K most often used words in their vocabulary. Distributed word representations for 157 distinct languages were created using the Wikipedia and Common Crawl databases [8]. The author's Uzbek Wikipedia model has 110K words, but the Common Crawl model only has 830K words. They produce word embeddings for Uzbek (as well as other Turkic languages) using fastText,

and they line them up with embeddings for other Turkic languages. Their model has 200K words, while the 24M words in their Uzbek training data were taken from websites [9].

The aforementioned embeddings were all created for the Latin script of the Uzbek language. Word embeddings for the Cyrillic script are produced by Mansurov and Mansurov 2020 using the word2vec [10], GloVe [11], and fastText [12] techniques. The writers crawl websites with the "uz" domain in order to gather information. Their training data contained more than 79M words.

The fundamental flaw in these models' embeddings is that each word only receives a single vector, regardless of how many possible meanings it may have. They are unable to encode uncommon phrases, among other things, because word2vec and GloVe are word-level models. Transformer was used to train the BERT model to recognize the Cyrillic script [B. Mansurov et al., 2021].

As far as we know, no Latin-based Transformer-based Uzbek language model has been made public. The two main contributions of this paper are the gathering of a high-quality Latin alphabet corpus and the use of this corpus to train an UzRoBERTa-based model for the Uzbek language.

## Methods

### Corpora Selection Criteria

When scanning a collection of corpora for beginning code, from which task-specific corpora are created and annotated, we take into account two criteria. Accessibility is the initial criterion. UzLUE's primary goal is to support ongoing NLP research and development, thus we make sure the data it contains can be utilized and shared by anybody as freely as possible. Quality and diversity make up the second requirement. By eliminating subpar text, we make sure that each sample in these corpora is of a specific caliber and that the ratio of formal to informal writing is maintained.

Diversity and high quality. We choose a subset of ten of these 20 source corpora to create the source corpus and the UzLUE benchmark. In doing so, we take into account the following criteria: 1) the corpus should not be specific to restricted fields (diversity); 2) the corpus must be written in contemporary Uzbek; and 3) the corpus should not be predominately composed of contents that have privacy or harmfulness problems.

### Preprocessing

We carefully preprocess these source corpora before generating a subset for each subsequent job because they come from different sources with varied degrees of quality and curation. The Sentence Splitter is used to break down each document in these corpora into individual sentences, and we detail our preprocessing procedures in this section [13]. During the annotation phase of each UzLUE work, the preprocessing procedures listed below are utilized in addition to manual inspection and filtering.

**Noise Filtering.** We remove noisy and/or non-Uzbek text from the selected source corpora [14]. We first remove hashtags (e.g., #JMT). HTML tags (e.g., <br>), bad characters (e.g., U+200B (zero-width space). U+FEFF (byte order mark)), empty parenthesis (e.g., ()), and consecutive blanks. We then filter out sentences with more than 10 other characters. For the corpora derived from news articles, we remove information about reporters and press, images, source tags as well as copyright tags (e.g., copyright by ©).

**Removal of harmful content.** We employ a number of automatic methods to exclude certain undesirable sentences from the source corpus in order to prevent introducing undesirable contents and biases into UzLUE.

**Removal II.** We eliminate sentences that include private information to reduce potential privacy concerns. Regular expressions that match URLs, email addresses, and user-mentioned keywords like "@xxxx" are used to find these statements.

### Pretrained Language Models

In the past, downstream tasks in NLP have been solved by taking word embeddings from raw text and feeding them into structures that are tailored to the task

at hand. Recurrent neural networks (RNN) are frequently used in these topologies. A current trend is to pretrain Transformer-based language models, such as BERT and RoBERTa, on a large amount of unannotated text before fine-tuning it for a downstream job with far less labeled input. On a range of tasks, such as language comprehension and question-answering, our strategy outperforms past attempts [15][9].

The Transformer uses the attention method without repetition and is composed of encoder and decoder stacks. The one and only part of BERT is an encoder stack, which is pretrained using tasks for predicting the next sentence and an MLM (masked language model). After certain input tokens are randomly masked, the MLM seeks to predict the original masked tokens. The goal of the NSP is to determine, given two text sequences, whether the second text sequence will come after the first in the original text. The language model can be augmented with an additional layer and improved after training so that it can handle a variety of downstream tasks, such as part-of-speech tagging.

We give robust baselines for all the benchmark tasks in UzLUE to support further study using it. As part of this endeavor, we pretrain and make available large-scale language models for Uzbek in the hopes that this will lessen the load on individual researchers to retrain large-scale language models. We pretrain the language model (PLM), RoBERTa [16], especially, from scratch.

### Language Models

A variety of Uzbek language models are pretrained using different training configurations. As a result, we may investigate the best conditions for pretraining Uzbek models and further develop straightforward yet efficient baseline models for UzLUE. UzLUE-RoBERTa is trained by us. We change the preprocessing method, pretraining corpus, and other training configurations.

*Table 1.*

**Statistics of the pretraining corpus**

	Uzbek news	c4	Total
# Sentences	12M	18.6M	30.6M
# Words	120,562,356	179,5635,63	300,125,919
size (GB)	1.25	1.85	3.1

Corpora for pretraining. The following two publicly accessible Uzbek corpora were compiled from a variety of sources to cover a wide range of themes and writing styles. We integrate these corpora to create the final pretraining corpus, which is about 3.1GB in size. For total data, see Table 1:

**Uzbek news.** It includes both formal articles (news and books) and colloquial text (dialogues).

**c4.** A colossal, cleaned version of Common Crawl's web crawl corpus. Based on Common Crawl dataset: "https://commoncrawl.org".

**Ethics-Related Matters.** These corpora frequently have undesired social biases because we gather and use as much publicly accessible data as we can for pretraining.

Furthermore, despite the fact that these corpora were all publicly accessible, we already noted that quite a deal of PII was there. These two are both problematic. A linguistic model that learns social biases could be the outcome of social biases in the corpus. A linguistic model may learn PII from the corpus, which can then be retrieved by adversarial assaults.

For three reasons, we do not screen out anything that is socially biased or hate speech. First of all, the size of the pretraining corpus makes human inspection impractical. Automatically detecting hate speech or socially biased content is a difficult subject in and of itself because both depend heavily on the context in which they are presented. We identified dangerous words in the text's Russian and English versions and deleted them.

Table 2.

**Implementation detail of UzRoBERTa. WWM refers to the whole word masking strategy**

Model	Parameter	Masking	Training Steps	Batch Size	Learning Rate	Device
UZRoBERTa base	110M	Dynamic, WWM	1M	2048	10 <sup>-4</sup>	4xV100 GPUs

Configurations for training. RoBERTa [16] architectures are what we settle on for our language model. Details of the implementation are provided in Table 2. Following the first training process, all models are pre-trained with a dynamic masking method using sequences that are each no more than 512 tokens long. We employ whole word masking (WWM) to mask tokens, which covers every token that makes up a single phrase. Next Sentence Prediction, or NSP, is another function of BERT. The original configurations from [4] apply to additional hyperparameters that are neither listed in Table 3 nor in the pretraining method instructions. In line with this, we lower the learning rate. For RoBERTa, we set the learning rate at 10<sup>-5</sup>.

**Existing Language Models**

In addition to our own language models, we evaluate the two existing multilingual language models and Uzbek monolingual language model on our benchmark:

**xlm-roberta-base** [16] XLM-RoBERTa is a multilingual version of RoBERTa. It is pre-trained on 2.5TB of filtered CommonCrawl data containing 100 languages.

**distilbert-base-multilingual-cased** [17] The model is trained on the concatenation of Wikipedia in 104 different languages listed.

**Results**

Table 3 displays the classification accuracy, F1 and cross-entropy loss values. On the darayo.uz website's News Category Dataset, we will fine-tune four models to identify the category of news based on the headline and a succinct description. The collection includes 17243 news headlines that were collected between 2021 and 2022.

Table 3.

**The classification accuracy, F1 and cross entropy loss of four models on the news dataset**

Model	LOSS	F1	ACC
xlm-roberta-base	0.27	0.90	0.91
distilbert-base-multilingual-cased	0.37	0.88	0.90
UZRoBERTabase	0.13	0.96	0.96

**Discussion**

Remember that xlm-roberta-base and distilbert-base-multilingual-cased were trained on Wikipedia and CommonCrawl, while UZRoBERTabase was trained on news articles. As a result, on the news evaluation set, UZRoBERTa base performs significantly better than xlm-Roberta-base and distilbert-base-multilingual-cased was.

According to our assessment, UZRoBERTa base's outstanding performance is mostly due to three factors:

- UZRoBERTabase training data is of higher quality than that of other models. We have sufficiently pre-processed the data.
- Transfer learning to Uzbek from other languages may not have been successful for xlm-roberta-base and distilbert-base-multilingual-cased.

**Conclusion**

The goal of this study was to construct a RoBERTa-based monolingual pretrained Uzbek language model. The end result is the first such model that is openly accessible, called UZRoBERTabase. Our model's accuracy on a masked language model is significantly higher than multilingual BERT's, despite the fact that it was trained on a smaller corpus.

The fact that UZRoBERTabase was trained exclusively on Uzbek literature gives it a theoretical advantage over xlm-roberta-base and distilbert-base-multilingual-cased in that its vocabulary is narrower and theoretically better reflects the nuances of the language. When task-specific fine-tuning data is available in a language other than Uzbek, however, xlm-Roberta-base and distilbert-base-multilingual-cased are preferable. To achieve this, however, xlm-roberta-base and distilbert-base-multilingual-cased need to be trained on Uzbek texts of substantially higher quality than those found in Uzbek Wikipedia and Common Crawl, as the model's performance on MLM accuracy falls significantly short of that of UZRoBERTabase. Future studies on UZRoBERTabase ought to think about training a model using additional texts written in various genres. On 3.1 GB of text, UZRoBERTabase was trained. A language model that is twice as big should be just as accurate as one built on tens of gigabytes of text. We were unable to assess its performance on these tasks since there were no publicly available datasets for the tasks that came next in Uzbek. Producing such datasets and evaluating UZRoBERTa based on them in subsequent assignments is another direction for future development.

Finally, similar to the work done in [18], it would be interesting to investigate how the tokenizer affects the performance of the model. We want to create a tokenizer

that can accurately separate words into stems and suffixes because the Uzbek language has a lot of inflectional patterns.

### References:

1. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. Gomez, L. Kaiser and I. Polosukhin, e-print arXiv.1706.03762, 2017.
2. J. Devlin, M. Chang, K. Lee and K. Toutanova, e-print arXiv.1810.04805, 2019.
3. M. Ott, N. Goyal, J. Du, M. Joshi, D. Chen, O. Levy, M. Lewis, L. Zettlemoyer and V. Stoyanov, e-print arXiv.1907.11692, 2019.
4. G. Lample and A. Conneau, e-print arXiv.1901.07291, 2019.
5. Conneau, K. Khandelwal, N. Goyal, V. Chaudhary, G. Wenzek, F. Guzmán, E. Grave, M. Ott, L. Zettlemoyer and V. Stoyanov, e-print arXiv.1911.02116, 2019.
6. R. Al-Rfou', B. Perozzi, S. Skiena, 'Proceedings of the Seventeenth Conference on Computational Natural Language Learning,' 2013. PP. 183.
7. E. Grave, P. Bojanowski, P. Gupta, A. Joulin and T. Mikolov, 'Proceedings of the Eleventh International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2018),' 2018.
8. V. Baisa and V. Suchomel, 'Proceedings of the Eight International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'12),' 2012. PP. 28.
9. T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado and J. Dean, e-print arXiv.1301.3781, 2013.
10. J. Pennington, R. Socher and Ch. Manning, 'Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP),' 2014. PP. 1532.
11. P. Bojanowski, E. Grave, A. Joulin and T. Mikolov, Enriching Word Vectors with Subword Information (Transactions of the Association for Computational Linguistics, 2017.
12. J. Devlin, M. Chang, K. Lee and K. Toutanova, e-print arXiv.1810.04805, 2018.
13. S. Park, J. Moon, S. Kim, W. Cho, J. Han, J. Park, Ch. Song, J. Kim, Y. Song, T. Oh, J. Lee, J. Oh, S. Lyu, Y. Jeong, I. Lee, S. Seo, D. Lee, H. Kim, M. Lee, S. Jang, S. Do, S. Kim, K. Lim, J. Lee, K. Park, J. Shin, S. Kim, L. Park, A. Oh, J. Ha and K. Cho, e-print arXiv. 2105.09680, 2021.
14. R.R. Davronov, R.A. Safarov and Sh.Q. Abdumalikov, 'International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT),' 2021.
15. R.R. Davronov, R.A. Safarov and Sh.Q. Abdumalikov, 'International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT),' 2021.
16. URL: <https://huggingface.co/rifkat/uztext-3Gb-BPE-Roberta>
17. URL: <https://huggingface.co/xlm-roberta-base>
18. URL: <https://huggingface.co/distilbert-base-multilingual-cased>
19. URL: <https://www.nltk.org/index.html>
20. URL: <https://spacy.io/>



## A COMPARISON OF FEATURE SELECTION TECHNIQUES IN QSAR MODELING

*Rifqat Davronov*

*Ph.D., Senior Researcher  
V.I. Romanovsky Institute of Mathematics  
of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent  
E-mail: [rifqat.davronov@mathinst.uz](mailto:rifqat.davronov@mathinst.uz)*

*Samariddin Kushmuratov*

*Junior Researcher,  
V.I. Romanovsky Institute of Mathematics  
of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent  
E-mail: [bekmezonali@gmail.com](mailto:bekmezonali@gmail.com)*

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫБОРА ПРИЗНАКОВ В МОДЕЛИРОВАНИИ QSAR

*Давронов Рифкат Рахимович*

*канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,  
Институт Математики им В.И. Романовского  
АН Республики Узбекистан,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

*Кушмуратов Самариддин Ибодулла угли*

*мл. науч. сотр.,  
Институт Математики им В.И. Романовского  
АН Республики Узбекистан,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

### ABSTRACT

This research aimed to assess the effectiveness of nine distinct feature selection techniques, examining their stability and performance with an environmental dataset. The utilized methods included Chi-square, Mutual Information, Anova F-value, Fisher Score, Recursive Feature Elimination, Permutation Importance, Random Forest, LightGBM, and SHAP (Shapley Additive Explanations). Features were ranked using these methods, with the top-ranked features accounting for 6% of the final evaluation. Classifiers were trained using an 80% training and 20% testing configuration, with the results assessed using the accuracy metric. The experiments revealed that the Recursive Feature Elimination and SHAP methods consistently outperformed others. Specifically, SHAP emerged as the top performer, closely followed by Recursive Feature Elimination. The findings underscore the importance of selecting appropriate feature selection methods for optimal classification performance. All Python codes used for our experiments can be found on Github at the provided link ([https://github.com/kushmuratoff/feature\\_selection](https://github.com/kushmuratoff/feature_selection)).

### АННОТАЦИЯ

Это исследование направлено на оценку эффективности девяти различных методов выбора признаков, а также на изучение их стабильности и производительности на экологическом наборе данных. Используемые методы включали в себя критерий хи-квадрат, взаимную информацию, F-значение ANOVA, оценку Фишера, рекурсивное исключение признаков, важность перестановки, случайный лес, LightGBM и SHAP (аддитивные объяснения Шепли). Признаки ранжировались с использованием этих методов, причем наиболее высоко ранжированные признаки составляли 6% от итоговой оценки. Классификаторы обучались с использованием конфигурации 80% для обучения и 20% для тестирования, а результаты оценивались с использованием метрики точности. Эксперименты показали, что методы рекурсивного исключения признаков и SHAP стабильно превосходили другие. В частности, SHAP был признан лучшим методом, тесно за ним следовал метод рекурсивного исключения признаков. Результаты подчеркивают важность выбора подходящих методов выбора признаков для оптимальной производительности классификации. Все Python-коды, использованные для наших экспериментов, можно найти на Github по предоставленной ссылке ([https://github.com/kushmuratoff/feature\\_selection](https://github.com/kushmuratoff/feature_selection)).

**Keywords:** structure-activity mathematical model (QSAR), feature selection methods, comparative analysis.

**Ключевые слова:** математическая модель «структура-активность»(QSAR), методы отбора признаков, сравнительный анализ.

## Introduction

Drug discovery is a complex area of study that encompasses the understanding of cellular processes, the ability to predict protein structures, and the evaluation of interactions between molecules and their targets in living organisms [1]. Scientists aim to unravel the mechanisms underlying diseases and develop compounds that can effectively combat these disease-causing agents. However, the intricate nature of cellular activities presents considerable obstacles in the comprehensive design of drugs. To address these challenges, methods such as high-throughput screening have been introduced [1].

The advent of combinatorial chemistry in the 1980s led to the synthesis of a vast number of novel molecular compounds, necessitating the development of more focused search methods beyond exhaustively exploring every possible combination of molecules. As a result, statistical techniques and advanced computational tools have become crucial in the field of drug development [2]. Among these methods, the Structure-Activity Relationship (SAR) approach assumes that the structural characteristics of a molecule are closely linked to its biological function. SAR aims to uncover these correlations and utilize the physicochemical properties of new molecules to predict their biological activity [3-4].

Machine learning has demonstrated potential in SAR analyses, enabling the assessment of the potential therapeutic effectiveness of compounds for specific diseases or targets [5]. For example, artificial neural networks have been utilized to efficiently search large databases and identify potential drug candidates [3]. Research conducted by Wagener et al. [4] has achieved accuracies of 70-80% using decision trees, while Burbidge et al. [2] have reported that support vector machines outperformed other machine learning techniques in predicting specific inhibitions. These studies highlight the promising applications of machine learning in enhancing SAR analyses and aiding in the discovery of new drugs.

Describing complex molecular compounds can involve a vast range of features and attributes, including topological indices and quantum mechanical descriptors. However, the high dimensionality of these features can pose challenges for many learning algorithms [6]. Therefore, in the initial stages of machine learning, a crucial step is to identify the most relevant features. Having excessive redundant features can complicate algorithmic decision-making, requiring more training data or leading to longer convergence times. An optimal approach often involves identifying essential variables and selecting subsets of features that improve algorithm efficiency. It has been observed that reducing the feature space can maintain accuracy while enhancing performance in various contexts, such as text categorization [7].

The objective of this study is to compare different techniques for feature selection in order to streamline high-dimensional feature spaces in drug discovery. The study specifically focuses on using the Logistic Regression method for classifying compounds.

## Methods

**Data Description:** This research utilized the dataset mentioned in reference [8] for analysis. Each compound in the dataset is represented by a feature vector consisting of 105 features, along with a corresponding class label ("A" for active and "I" for inactive).

**Methods for Feature Selection:** In this study, five different techniques were evaluated, all with the objective of ranking features based on their importance for model training and classification purposes.

- **Chi-square:** In this study, a univariate filter approach was employed, utilizing the chi-square statistical test. This test measures the extent to which the distribution of a feature deviates from the expected distribution if it were independent of the class value (Jin et al., 2006). A higher chi-square value signifies greater relevance of the feature.

- **Mutual Information (Information Gain):** Initially proposed by Quinlan (1986) and subsequently discussed by Hoque et al. (2014), this univariate feature selection approach is widely utilized in practice due to its computational efficiency. It assesses the reduction in entropy associated with individual features. However, it is considered a 'myopic' method as it examines features independently without considering their relationships with other features.

- **Anova F-value:** A univariate filter method that utilizes variance is employed to evaluate the separability of features among different classes, which is particularly relevant for multi-class endpoints (Ding et al., 2014; Jafari and Azuaje, 2006).

- **Fisher Score:** This filter ranks features by considering both their mean and variance (Duda et al., 2001). Features that are considered ideal show consistent values within the same class but exhibit variation across different classes. However, this approach has limitations in handling feature redundancy (Duda et al., 2012).

- **Recursive Feature Elimination (RFE):** This technique involves iteratively removing the least significant features until the desired feature count is achieved (Guyon, I., et al., 2002).

- **Permutation Feature Importance:** This technique allows for the examination of any fitted model using tabular data (L. Breiman, 2001).

- **Random Forests:** This ensemble technique involves using multiple decision trees during training for classification, regression, and feature selection purposes (Tin Kam Ho, 1995).

- **LightGBM:** A tree-based gradient boosting framework (Guolin Ke et al., 2017).

- **SHAP (Shapley Additive Explanations):** An innovative method that provides insights into the outputs of machine learning models is SHAP (SHapley Additive exPlanations). It leverages concepts from game theory to calculate the contributions of features to specific predictions. It distributes the "payout" of a prediction among the features, treating them as players in a coalition. SHAP can be applied to individual features or groups of features, such as pixels in an image. An im-

portant characteristic of SHAP is its use of additive feature attribution for explanations, which establishes a connection with LIME (Local Interpretable Model-Agnostic Explanations) and Shapley values. The SHAP model defines explanations in a specific manner:

The continuation of the explanation is missing but the above captures the essence of the provided text:

$$g(z') = \varphi_0 + \sum_{j=1}^M \varphi_j z'_j \quad (1)$$

where  $g$  is the explanation model,  $z' \in \{0,1\}^M$  is the coalition vector,  $M$  is the maximum coalition size and  $\varphi_j \in \mathbb{R}$  is the feature attribution for a feature  $j$ , the Shapley values. In the SHAP paper, what I term as the "coalition vector" is referred to as "simplified features." This nomenclature is likely adopted because, in contexts like image data, representations are not at the pixel granularity but rather consolidated into superpixels. It's beneficial to conceptualize the  $z$ 's as representations of coalitions. Within the coalition vector, an entry denoted as 1 indicates the affiliated feature value is "active," whereas 0 signifies its "inactivity." This concept might resonate with those acquainted with Shapley values. When determining Shapley values, we emulate scenarios where only certain feature values are active ("present") while others remain inactive ("absent"). The representation as a linear model of coalitions is a trick for the computation of the  $\varphi$ 's. For  $x$ , the instance of interest, the coalition vector  $x'$  is a vector of all 1's, i.e. all feature values are "present". The formula simplifies to:

$$g(z') = \varphi_0 + \sum_{j=1}^M \varphi_j \quad (2)$$

You can find this formula in similar notation in the Shapley value chapter. More about the actual estimation comes later. Let us first talk about the properties of the  $\varphi$ 's before we go into the details of their estimation.

### Classifiers

Once the most discriminative features were identified, two classifiers were employed to assess the effectiveness of the feature selection techniques.

**Logistic regression**, while logistic regression may sound like a regression technique, it is primarily used as a linear classification method. It is also known as logit regression, maximum-entropy classification (MaxEnt), or log-linear classification in academic literature. Instead of predicting numerical values, logistic regression models

the probabilities of different outcomes using a logistic function [11]. In terms of optimization, binary class l2 penalized logistic regression aims to minimize a specific cost function:

$$\min_{w,c} \frac{1}{2} w^T w + C \sum_{i=1}^n \log(\exp(-y_i(X_i^T w + c)) + 1) \quad (3)$$

Similarly,  $l_1$  regularized logistic regression solves the following optimization problem:

$$\min_{w,c} |w|_1 + C \sum_{i=1}^n \log(\exp(-y_i(X_i^T w + c)) + 1). \quad (4)$$

During the fitting process of logistic regression, the model takes input arrays  $X$  and  $y$ . It then calculates and stores the coefficients ( $w$ ) of the linear model in its "coef\_member".

**Accuracy**, Accuracy is a commonly used metric for assessing the performance of classification models. It measures the proportion of correct predictions made by the model. In formal terms, accuracy is defined as follows:

$$Accuracy = \frac{\text{Number of correct predictions}}{\text{Total number of predictions}} \quad (5)$$

For binary classification, accuracy can also be calculated in terms of positives and negatives as follows:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (6)$$

Where  $TP$  = True Positives,  $TN$  = True Negatives,  $FP$  = False Positives, and  $FN$  = False Negatives.

### Results and discussion

We evaluated various feature selection techniques in combination with a specific machine learning algorithm using a given dataset. The experimental process consisted of the following steps:

1. We applied each feature selection technique individually, which produced a ranking of features based on their corresponding scores.

2. From the rankings mentioned earlier, we selected the top-ranked features, which accounted for 6% of the final evaluation.

3. The chosen algorithm was utilized to classify the data using an 80% training and 20% testing configuration, without making any adjustments to its parameters.

4. The results were evaluated using the Accuracy metric, as specified in Table 1.

Table 1.

Accuracy Scores for Each Feature Selection Method

Method	Accuracy	Feature 1	Feature 2	Feature 3	Feature 4	Feature 5	Feature 6
Chi-square	0.88	MAC3(Ap)	MAC4(ECI)	MAC4(Ap)	MAC5(Ap)	MAC6(Ap)	MAC7(Ap)
Mutual Information	0.76	MAC4(Ap)	MAC5(Mw)	MAC5(At)	MAC5(Ap)	MAC6(Mw)	MAC6(Ap)
Anova F-value	0.8	MAC4(IP)	MAC4(Ap)	MAC5(IP)	MAC5(At)	MAC5(Ap)	MAC7(Ap)

Method	Accuracy	Feature 1	Feature 2	Feature 3	Feature 4	Feature 5	Feature 6
Fisher Score	0.64	MAC4(ECI)	MAC3(Pa)	MAC3(ECI)	MAC3(Vm)	MAC1(ECI)	MAC4(Pa)
Recursive Feature Elimination	0.92	MAC3(IP)	MAC4(Ap)	MAC5(Mw)	MAC5(IP)	MAC5(Ap)	MAC7(At)
Permutation Importance	0.84	MAC3(At)	MAC3(Ap)	MAC4(Ap)	MAC5(At)	MAC7(Mw)	MAC7(Vm)
Random Forest	0.8	MAC3(Ap)	MAC4(Ap)	MAC5(Mw)	MAC5(At)	MAC6(Ap)	MAC7(At)
SHAP	0.92	MAC5(Mw)	MAC4(Ap)	MAC4(Z1)	MAC3(Z2)	MAC5(IP)	MAC1(IP)
LightGBM	0.72	MAC1(Mw)	MAC1(HP)	MAC1(IP)	MAC1(ECI)	MAC1(Vm)	MAC1(Anp)

In our study, we conducted experiments using Python and incorporated the pandas, numpy, and scikit-learn libraries [9]. Initially, we loaded the datasets and checked for any missing values, but none were found. We utilized the default feature selection methods provided by scikit-learn, including Chi-square, Mutual Information, Anova F-value, Fisher Score, Permutation Importance, Random Forest, and LightGBM. The default parameters of scikit-learn were consistently used. For Recursive Feature Elimination, we employed the Logistic Regression algorithm from scikit-learn, treating it as a black box for normalized features. We chose this algorithm due to its widespread adoption, speed, and satisfactory results. Additionally, for SHAP analysis, we utilized the shapely package [10] in combination with the XGBoost algorithm. Notably, our findings indicate that Recursive Feature

Elimination and SHAP, our benchmark feature selection methods, consistently outperformed the other approaches across various tasks.

### Conclusion

In our study, we examined nine different feature selection techniques. We evaluated the stability and performance of these methods using an environmental dataset and one of the top classification algorithms in the field.

Based on our findings, the Reciprocal Ranking method demonstrated superior performance compared to other techniques, while also maintaining a commendable level of stability. Among the evaluated methods, SHAP emerged as the top performer, with Recursive Feature Elimination showing notable results.

### References:

1. C. Corwin and I.D. Kuntz, "Database searching: Past, present and future. In Designing bioactive molecules", American Chemical Society: Washington, 1 (1998).
2. R. Burbridge, M. Trotter, B. Buxton and S. Holden, Ding design "Proceedings of the AISB'00 Symposium on Artificial Intelligence in Bioinformatics", (2000).
3. T.M. Frimurer, R. Bywater, L. Namm, L.N. Lauritsen and S. Bnuiak, "Improving the odds in discriminating drug-like from non drug-like compounds", J. Chem. Inf. Comput. Sci. 40. 1315-1324 (2000).
4. M. Wagener and V. Geerestein, "Potential drugs and nondings: prediction and identification of important structural features", J. Chem. Inf. Comput. Sci. 40, 280-292 (2000).
5. S. Eschrich, N.V. Chawla and L.O. Hall, "BIOKDD02: Workshop on Data Mining in Bioinformatics", (2002).
6. Y. Yang and J.O. Pederson, "International Conference on machine Learning (ICML'97)", (1997).
7. Y. Dabrowski and J.M. Deltorn, Machine learning application to drug design, <http://www.inimngmachines.com>
8. A.K. Halder and M. Natália Dias Soeiro Cordeiro, "QSAR-Co-X: an open source toolkit for multitarget QSAR modelling", Journal of Cheminformatics. 13, 29 (2021).
9. Simple and efficient tools for predictive data analysis, <https://scikit-learn.org/stable/index.html>
10. Python package for manipulation and analysis of planar geometric objects <https://github.com/Toblerity/Shapely>
11. Logistic function definition [https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic\\_function](https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic_function)

**MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE SCIENCE**

DOI: 10.32743/UniTech.2023.115.10.16071

**APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING  
FOR THE SYNTHESIS OF NEW ALLOYS*****Kamolkhan Karimov****Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent****Nodir Turakhodjaev****Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent****Azamat Akhmedov****Doctor of Technical Sciences (DSc),  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent****Mehrubon Mirmuhamedov****Applicant,  
Khujand National University,  
Republic of Tajikistan, Khujand  
E-mail: [mirmuhamedovm@gmail.com](mailto:mirmuhamedovm@gmail.com)****Jamshed Sharipov****Applicant,  
Khujand National University,  
Republic of Tajikistan, Khujand****Ziyodullo Obidov****Doctor of Chemical Sciences, Professor,  
Tajik Technical University,  
Republic of Tajikistan, Dushanbe***ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ДЛЯ СИНТЕЗА НОВЫХ СПЛАВОВ*****Каримов Камолхан Аббасович****д-р техн. наук, профессор,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент****Тураходжаев Нодир Джахонгирович****д-р техн. наук, профессор,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент****Ахмедов Азамат Хаитович****д-р техн. наук (DSc)  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**Мирмухамедов Мехрубон Мамурович**

соискатель,  
 Худжандский государственный университет,  
 Республика Таджикистан, г. Худжанд

**Шаринов Джамишед Хакимович**

соискатель,  
 Худжандский государственный университет,  
 Республика Таджикистан, г. Худжанд

**Обидов Зийдулло Рахматович**

д-р хим. наук, профессор  
 Таджикский технический университет  
 Республика Таджикистан, г. Душанбе

### ABSTRACT

It has been determined that the creation of mathematical models of alloy synthesis processes is supported for the production of promising new alloys in the foundry industry.

### АННОТАЦИЯ

Было определено, что создание математических моделей процессов синтеза сплавов поддерживается для получения перспективных новых сплавов в литейном производстве.

**Keywords:** mathematical modeling, synthesis and application, new alloy.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, синтез и применение, новый сплав.

Scientists of Uzbekistan and Tajikistan have developed technologies for the high-temperature processing of industrial slags [1] and wastes [2], separation processing in electric furnaces [3] and a technology for extracting metals from liquid slag [1]. Let's give some examples [4, 5]. In addition, studies have been carried out on the anodic behavior and oxidation of the Zn22Al alloy doped with scandium, yttrium and erbium [6–8]. At the same time, reliable protection against the corrosive effects of the agents in which they operate is necessary. In the practice of protecting semi-finished steel products from corrosion, zinc-aluminum coatings such as “galfan” (Zn5Al, Zn55Al) [9–11] Zn22Al [12–14] and “galvalum”

(Zn55Al-1.6Si) are currently used in various aggressive environments.

To develop a new alloy, it seems necessary to select an appropriate method of mathematical modeling while taking into account the technological process [15, 16]. Below are the tasks for the development and analytical implementation of the mathematical model.

In numerical programming problems with a wide range of applied problems, the extremum of a function (objective function) is determined which borders on a system of linear equations and inequalities. The mathematical model of the general linear programming problem has the form:

$$\begin{aligned}
 f(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \min(\max), \\
 \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, k, \\
 \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &= b_i, \quad i = k+1, \dots, l, \\
 \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\geq b_i, \quad i = l+1, l+2, \dots, m, \quad x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, p, \quad p \leq n.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

In other words, this task is reduced to the task of qualitative assessment of economic, technical technological processes and determination of optimal solutions. If problem (1) has solutions, then the objective function reaches an extremum.

We explain this problem with the following problem. Suppose a metallurgical plant produces three types of alloys from raw materials A and B. The percentages of raw materials in the alloys are presented in the table

below. In total, the plant has 7 tons of raw materials of type A and 17 tons of raw materials of type B. A ton of the first alloy costs 1.5 million conventional units, the second - 1.6 million conventional units, the third - 1.2 million conventional units. In this case, the need for the third alloy should not exceed 12 tons, and the need for the first alloy should not be less than 5 tons. The question is, how many tons of each alloy should be produced to achieve maximum economic efficiency?



6. Mirmuhamedov M.M., Jobirov U.R., Obidov Z.R. Anodic behavior of Zn22Al alloy, doped with erbium. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & technologies*. 2023. V. 16. N. 3. P. 354-362. EDN: ZKSOTU.
7. Mirmuhamedov M.M. Kinetics of Interaction of Hard Alloys Zn22Al-Er System with Oxygen in the Gas Phase. *Universum – Technical Science. Metallurgy and Materials Science*. 2022. №12 (105). P. 61-63. DOI: 10/32743/UniTech. 2022.105.12.1470314775.
8. Мирмухамедов М.М., Джобиров У.Р., Ганиев И.Н., Обидов З.Р. Анодное поведение и окисление сплава Zn22Al, легированного скандием. *Вопросы материаловедения*. 2023. Т. 114. № 2. С. 147-154. DOI: 10.22349/1994-6716-2023-114-2-147-154 [In Russian].
9. Obidov Z.R. Effect of pH on the Anodic Behavior of Beryllium and Magnesium Doped Alloy Zn55Al. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2015. V. 88. N 9. P. 1451–1457. DOI: 10.1134/S1070427215090116.
10. Obidov Z.R. Anodic Behavior and Oxidation of Strontium – Doped Zn5Al and Zn55Al Alloys. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2012. V. 48. N 3. P. 352–355. DOI: 10.1134/S2070205112030136.
11. Obidov Z.R. Thermophysical Properties and Thermodynamic Functions of the Beryllium, Magnesium and Praseodymium Alloyed Zn-55Al Alloy. *High Temperature*. 2017. V. 55. N 1. P. 150–153. DOI: 10.1134/S0018151X17010163.
12. Sharipov J.Kh., Aliev F.A., Ganiev I.N., Obidov Z.R. Anodic Behavior and Oxidation of Thallium – Containing Alloy Zn22Al. *Inorganic Materials*. 2023. V. 59. N 5. P. 475–480. DOI: 10.1134/S0020168523050163.
13. Sharipov J.H., Hakimov I.B., Obidov Z.R. The Influence of Thallium Additives on the Kinetics of Oxidation of the Zn22Al alloy. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2023. V. 16. N 3. P. 369-370. EDN: JWUYWP.
14. Sharipov J.Kh. Kinetics of Interaction of Hard Alloys Zn22Al-Tl System with Oxygen in the Gas Phase. *UNIVERSUM – Technical Science. Metallurgy and Materials Science*. 2022. №12 (105). P. 64–66. DOI: 10/32743/UniTech. 2022.105.12.1470314777.
15. Turakhodjaev N., Tursunbaev S., Karimov K. and etc. The effect of lithium content on the mass of the part when alloyed with lithium aluminum. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*. 2022. 11. P. 52-57. DOI: 10.17683.
16. Turakhujaeva Sh., Turakhodjaev N., Karimov K., Akhmedov A. Mathematical modeling of quantitative changes in hydrogen and oxide inclusions in aluminum alloy. *E3S Web of Conferences*. 2023. 365. 05016. DOI: 10.1051/e3sconf/ 202336505016.



## PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MARINE ENGINE PARTS RESTORED BY DIFFUSION CHROME PLATING

*Rashad Gharib Goyushov*

*Doctorate student  
of the Azerbaijan State Maritime Academy,  
Azerbaijan, Baku  
E-mail: [r.gov@mail.ru](mailto:r.gov@mail.ru)*

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДИФФУЗИОННЫМ ХРОМИРОВАНИЕМ

*Рашиад Гариб Гююшов*

*докторант  
Азербайджанской Государственной Морской Академии,  
Азербайджан, г. Баку*

### ABSTRACT

The development of the industry of the Republic of Azerbaijan implies the transition to a market economy with various forms of ownership and management. The development of entrepreneurship and the process of privatization of state property stimulate the development and strengthening of service enterprises. At the same time, it is envisaged to significantly increase the reliability and resource of the machines, the development of the firm repair of the special complex equipment in operation.

Saving fuel and energy resources of the country by any means is one of the important problems. The main consumer of petroleum products is internal combustion engines. Having certain advantages, they will retain their importance as mobile energy devices in the near future.

### АННОТАЦИЯ

Развитие промышленности Азербайджанской Республики предполагает переход к рыночной экономике с различными формами собственности и управления. Развитие предпринимательства и процесс приватизации государственной собственности стимулируют развитие и укрепление предприятий сферы услуг. При этом предусматривается существенное повышение надежности и ресурса машин, развитие фирменного ремонта специальной сложной техники, находящейся в эксплуатации.

Экономия топливно-энергетических ресурсов страны любыми способами является одной из важных задач. Основным потребителем нефтепродуктов являются двигатели внутреннего сгорания. Имея определенные преимущества, они сохраняют свое значение в качестве мобильных энергетических устройств и в ближайшем будущем.

**Keywords:** diffusion chroming, mechanical processing, plunger pair, microhardness.

**Ключевые слова:** диффузионное хромирование, механическая обработка, плунжерная пара, микротвердость.

### Main part

As a result of the analysis of the results of the experiments, the following mode of diffusion chroming was selected: temperature 1150-1200°C, storage time 6 hours. The variation of the roughness and microhardness of the linear dimensions of the samples is given in table 1. After diffusion metallization, diagrams and profilograms

of precession surfaces were produced, the results of measurements showed that the non-circularity of the details remains at the same level after the process and before it, and the increase in linear dimensions after the process is about  $R_a=1.6-2 \mu\text{m}$ , which gives the required increase. This increase is taken into account in the subsequent mechanical processing [1-6].

*Table 1.*

**Physical and mechanical properties of steel grades**

Brand of steel	Variation of linear dimensions		Roughness, $R_a$ , mkm		Microhardness $M$ , MPa	
	gas phase	vapor phase	gas phase	vapor phase	gas phase	vapor phase
38X2MЮА	70-85	75-85	1,6-2,4	1,2-2	18000	22000-22500

45	55-65	60-70	1,8-2,5	1,6-2,2	16000	18000-18800
40X	35-45	65-75	1,6-2,6	1,4-2,2	16800	18800-19200
50Г	55-60	65-80	1,4-2,2	1,2-1,8	16400	18000-18500
ХВГ	60-75	70-85	1,2-1,6	1,1-1,4	17600	19600-20000
ШХ15	50-60	70-75	1,4-1,8	1,2-1,6	13600	19200-19800
P18	55-65	65-75	1,2-1,6	1,2-1,4	16300	22100-22700
18Х2Н4ВА	52-62	62-68	1,5-1,8	1,3-1,5	17000	22000-22300
У8	55-60	68-78	1,8-2,2	1,4-1,8	16000	17500-18200

In the process of experimental studies, it was confirmed that the microhardness of chromed layers of details and samples is around 16000-22700MPa.

The maximum microhardness of the layer for all steels was 22100-22700MPa.

The surface hardness of the diffusion layer is uneven. Thus, when the hardness in gas-phase chroming at 1150 °C temperature is around 17600-18000 MPa, the average number was 17800 MPa as a result of numerous measurements [2-7].

In vapor phase chroming, these figures were 19600-20000 MPa, and the average figure was 19800 MPa. Accordingly, the surface hardness is 2-3 times higher than the initial samples.

For a more in-depth study of the processes taking place in diffusion chroming, X-ray analysis of the phase composition of the base and surface layers of the plunger under chromium irradiation was carried out in the ДРОН-1 diffractometer.

The results of X-ray analysis of the surface phase composition of ХВГ steel samples and details after diffusion vapor phase chroming in different regimes. As can be seen, in vapor phase vacuum chroming,  $Cr_7C_3$  and TiC type carbide phase is formed on the surface of the part. The appearance of one or another phase depends on the composition of the steel and the modes of diffusion metallization [3-8].

The analysis of the phase composition of the layer showed that, the layer obtained by diffusion metallization with the specified mode consists of  $Cr_7C_3$  and TiC trigonal carbide, its thickness is 35  $\mu m$ , and it was single-phase, the same in the diffractogram the presence of  $\alpha$ -iron and carbide indicates that X-rays penetrate this layer.

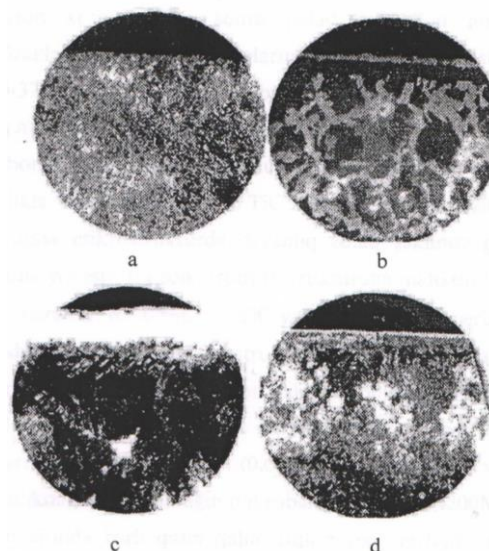
The results of the spectral analysis of carbon in the surface layers of the plungers (serial and diffusion chromed) are shown in Fig. 1 [8, p.56-59]. Traces of different layer thicknesses were shown by polishing.

From the analysis, it can be seen that if the carbon in the serial plunger is evenly distributed in the entire volume, the amount of carbon on the surface of the coating in diffusion chromed ones is greater than in the core (49  $\mu m$  from the surface to the core). This factor shows that in the process of diffusion of chromium, mutual diffusion of carbon from the core of the metal to the reaction zone takes place. the amount of carbon in the layer increases [4-9].

The microstructure was studied in transverse sections under a MIM-8 microscope at 50 to 500 times magnification. The microstructure was determined by etching the slices in a 4% solution of nitric acid in ethyl alcohol.

Samples and details subjected to vapor phase diffusion chroming shown in Fig. 1 were taken for research.

The initial structure of the ХВГ steel plunger after factory heat treatment represents martensite with Vickers hardness of 750-770 units. After diffusion metallization with modes 1 and 2, a "triple" structure is observed on the surface when examining the cross section of the plungers (Fig. 1).



**Figure 1. Microstructure of ХВГ steel after diffusion metallization:** a-series tabbed (x450); b-diffusion chromed in vacuum (1180°C,  $\tau = 4$  hours) (x350); c- diffusion chromed in vacuum (1180°C,  $\tau = 4$  hours) (x450); d- after diffusion chrome plating and machining (x450)

A carbide layer of equal thickness is added to the surface itself. The hardness of the layer along the circumference of the plunger was 1500-1800 HV. Under this layer, a pearlite structure layer with a hardness of 400 HV, corresponding to the hardness of the base metal, is found. A decarburized layer with a hardness of 190 HV and pure ferrite appears between the transition layer and the base metal. Plunger 5 (mode 3) has no decarburized layer (Fig. 1).

The study of the microstructures of samples and cores of details from steel ХВГ after diffusion chroming showed that it is frostite sorbite with a hardness of 350-370 HV. The absence of residual austenite in the core and also under its layer was determined.

After gas chroming of low-carbon steel by the contact method, a thin layer of  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  and TiC carbide phase, distinguished by its high hardness, is formed. Below this layer is the transition (electrode) zone, which appears as a dark strip in the microstructure. This zone has a frostite structure and consists of a mixture of two phases:  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  and TiC near ferrite and pearlite, and there is a decarburized zone that gradually transitions to the typical structure of the steel under consideration. After contact chroming of decarbonized steel, X-ray analysis shows the presence of nitride phases on the surface.  $\text{Cr}_2\text{N}$  and CrN (0.02 mm deep),  $\text{Cr}_2\text{N}$  and CrN (0.02-0.06 mm deep) and  $\text{Cr}_2\text{N}$  (0.06-0.14 mm deep), surface thickness microhardness was 11800-14200 MPa. Below this layer is a thick light zone of the solid layer, below it is a dark (eutectoid) zone with a frostite-type structure. This zone transitions to a broad decarbonized light zone near the core [5-10].

In non-contact gas chroming of high carbon steels, a double carbide layer is formed:  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  and TiC on the surface and  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  closer to the core. It should be noted that in conventional tanning methods, a carbon-reduced zone is not observed in the structure.

In contact chroming in a non-hermetic container, a thin layer of carbonitride containing  $\text{Cr}_2(\text{N,C})$  is formed in the brittle zones of the steel, apart from the TiC,  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  and  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  phases.

When chromium diffuses, there is a continuous sharing of carbon and chromium in austenite. In the process of diffusion of chromium in steel, the structure of carbon in austenite changes as a result of diffusion of carbon from the core zones to the surface.

In Figure 1, ШХ15, ХВГ, etc. The effect of temperature and chroming time on the chroming of steels is shown. Steel ХВГ is chromed better than steel ШХ15, because it also contains tungsten in addition to chromium. The microhardness of the chromed layer of these steels is approximately the same as in diffusion vapor phase chrome plating and is around 17600-18620 MPa. The obtained results confirm that vanadium and chromium accelerate diffusion chromization, while manganese inhibits it.

The hardness of the base metal immediately close to the surface layers is close to the hardness of the core and is 350-370 HB (modes 1,2,3).

Fig. 1 Microstructure of ХВГ and ШХ15 steel ( $\times 350$ ) after diffusion chromed in vacuum (a) and after subsequent plating (b). The obtained results show that under the carbide layer with a thickness of 12 mm, there is a layer enriched with carbon in the process of diffusion metallization. This can be explained by the flow of carbon from the lower layers.

The surface layers of medium and high carbon alloy steels, as a rule, have a carbide nature and differ in high hardness around 18000-20000 MPa. The surface of low-carbon structural steel is dominated by a solid solution phase with chromium carbide additives. The

microhardness of this layer (17000-17500MPa) is  $107 \text{ n/m}^2$  or around 2000-10000 MPa, and for carbon steels it is 16000-16500 MPa.

The results of metallographic, X-ray and spectral studies allow us to present the mechanism of formation of the following coatings.

When steel is impregnated with carbide-forming elements, carbides are formed in the carbon surface layers. This can be explained by the mutual diffusion of metal and carbon diffusing from the core. As a result, a full layer of carbides can be formed on the surface of the steel. From this layer to the core, there is a triple electrode (Fe, Cr, C) transition zone, and then a carbonized zone. In the presence of carbon, chromium forms trigonal carbon  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  and TiC.

It is not always possible to achieve successful chrome plating of existing alloy steels. In some cases, it appears that special steels must be machined, taking into account the requirements presented by the manufacturer for chrome plating.

Considering the high cost of many steels, it should be noted that; in cases where the use of alloy steel is not strictly necessary, it should be replaced with carbon steel.

Thus, analyzing the research results, it can be concluded that the optimal mode of diffusion chroming for precession details of fuel pumps of marine engines is as follows: process temperature  $T=1200^\circ\text{C}$ , storage time  $\tau=6$  hours

## Conclusions

1. As a result of studies on the effect of mechanical processing modes on various indicators of the process, the optimal modes for each repair operation of carving and plungers were determined. It is advisable to polish the plunger in the following mode: circle rotation frequency - 1890 min<sup>-1</sup>; rotation frequency of the driving circle - 50 min<sup>-1</sup>; transverse movement - 0.42 mm/min; processing time - 6...8 seconds.

2. It is appropriate to carry out rough processing of the slot in the groove in the following mode: cutting speed - 20.01 m/min; average forward-backward speed of the grinding tool - 9.52 m/min; pressure of the clamp of the rubbing tool - 0.7...0.8 MPa, delivery time 0.35 min.

3. Parameters of the initial finishing mode of carving and plungers: peripheral speed of the rubbing tool - 13.35 m/min; average forward-backward speed of the grinding tool - 7.56 m/min; clamp pressure - 0.2...0.22 MPa, completion time - 0.75 min; For the final completion, these figures are respectively: 8.41 m/min; 6.12 m/min, 0.16..0.18 MPa; It should be equal to 0.5 minutes.

4. Analysis of statistical data on the accuracy of parameters of mechanical processing of plungers and grooves showed that after each operation they met the technical conditions of the manufacturing plant.

## References:

1. Баширов Р.Д., Рзаева А.Г. Технология сварки новых листов наружной обшивки к построечным // – Баку: ADDA, Elmi Əsərlər, –2013, №1, – с. 7-10.
2. Богомолова Н.А., Гордиенко Л.К. Металлография и общая технология металлов. М.: Высшая школа, 2018. 270 с.

3. Богомоллова Н.А. Практическая металлография. М.: 2013. 78 с.
4. Бугаев А.В. Разработка технологии упрочнения режущих рабочих органов промышленных мясорубок, Москва, 2015, 173 с.
5. Баширов Р.Д., Рзаева А.Г. Анализ основных критерий прочности корпусной конструкции переоборудованного танкера / Научно-практическая конференция, – Гянджа: – 4 мая – 5 мая, – 2016, – с. 245-249.
6. Баширов Р.Д., Рзаева А.Г. Технология сварки установленных элементов корпусной конструкции днищевого и бортового набора к построечным // – Баку: ADDA, Elmi Əsərlər, – 2013, №2, – с. 6 -9.

## THE ACCURACY OF THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE RESTORED PLUNGERS AND FLANGES

*Rashad Gharib Goyushov*

*Doctorate student  
of the Azerbaijan State Maritime Academy,  
Azerbaijan, Baku  
E-mail: [r.goyov@mail.ru](mailto:r.goyov@mail.ru)*

## ТОЧНОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ПЛУНЖЕРОВ И ФЛАНЦЕВ

*Рашиад Гариб Гююшов*

*докторант  
Азербайджанской Государственной Морской Академии  
Азербайджан, г. Баку*

### ABSTRACT

When choosing effective processing modes, the results should be considered not only from the point of view of the productivity of the process and the reduction of roughness of the processed surface, but also from the point of view of the intensity of error recovery. After diffusion metallization, mechanical processing of parts (100 plungers and 100 carves) with various initial geometric errors (ovality, conicity, curvature) from the form was carried out to evaluate the precision of mechanical processing of plunger pairs. Processing of the entire batch of details was carried out according to the designed technology. The measurement of the processed details showed that the accuracy deviations did not exceed the allowable values for each operation.

### АННОТАЦИЯ

При выборе эффективных режимов обработки результаты следует рассматривать не только с точки зрения производительности процесса и снижения шероховатости обрабатываемой поверхности, но и с точки зрения интенсивности восстановления ошибок. После диффузионной металлизации была проведена механическая обработка деталей (100 плунжеров и 100 вырезов) с различными исходными геометрическими погрешностями (овальность, конусность, кривизна) от формы для оценки точности механической обработки плунжерных пар. Обработка всей партии деталей осуществлялась по разработанной технологии. Измерение обрабатываемых деталей показало, что отклонения точности не превышали допустимых значений для каждой операции.

**Keywords:** diffusion metallization, mechanical processing, plunger pair, flange, ovality, conicity.

**Ключевые слова:** диффузионная металлизация, механическая обработка, плунжерная пара, фланец, овальность, конусность.

### Introduction

Processing of the entire batch of details was carried out according to the designed technology. The measurement of the processed details showed that the accuracy deviations did not exceed the allowable values for each operation. The statistical analysis of the results of the measurement of plungers and hollows showed that the distribution of ovality, conicity and curvature dimensions after polishing, thread cutting, rough and final processing obeys the normal law or the Weibull law (see table 1) [1-6].

### Main part

Graphs 1, 2, 3 show the distribution curves of the accuracy of the geometric parameters of the plungers and grooves after the final processing. It can be seen from the curves that the maximum values of ovality, conicity

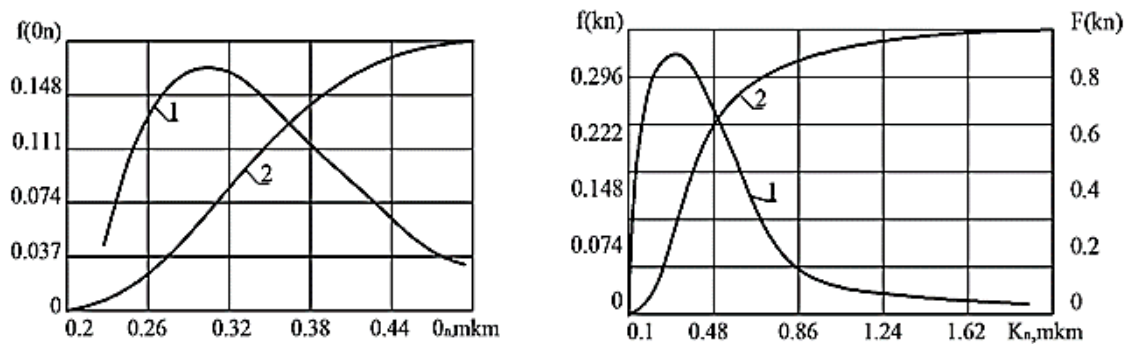
and curvature are lower than the allowable values of these parameters according to the technical conditions set by the manufacturer and DÜİST 250883 and OST 23 for the details of the plunger pairs of fuel pumps [2-7].

Figure 3 shows the circular diagrams of the plungers and grooves in three sections after processing. It can be seen from the circles that after mechanical processing, the ovality is within the limits of 0.2...0.4  $\mu\text{m}$ . The analysis of the results of the measurements showed that the dispersion of the diameter dimensions of the plunger and the grooves were 32  $\mu\text{m}$  and 26  $\mu\text{m}$  before machining, and 32 and 47  $\mu\text{m}$  after machining, respectively. This means that after machining, the plungers and grooves can be assembled using the assembly method. During machining after black finishing, 5 out of 100 engravings (5%) were broken because they had more than 0.003 mm of curvature, which is considered unacceptable by the manufacturer [3-8].

Table 1.

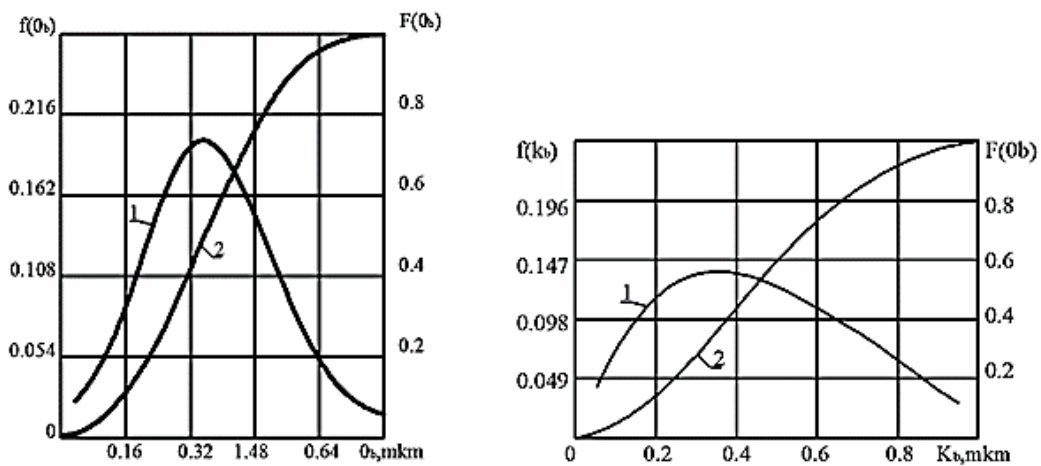
Statistical analysis of the results of measurements of plungers and curves

Operations	TZR			Ovality					Conicity					Curvature				
	Ovality.	Cone.	Curved.	$\bar{t}$ mkm	$\sigma$ mkm	$\nu$	$t^b$ mkm	$t^H$ mkm	$\bar{t}$ mkm	$\sigma$ mkm	$\nu$	$t^b$ mkm	$t^H$ mkm	$\bar{t}$ mkm	$\sigma$ mkm	$\nu$	$t^b$ mkm	$t^H$ mkm
Plunger																		
Polishing	ZNR	ZNR	-	3,00	0,50	4,83	3,80	2,20	2,70	0,86	0,492	4,50	2,82	-	-	-	-	-
Initial delivery	ZNR	ZNR	-	1,98	0,32	0,252	2,50	1,40	1,68	0,43	0,486	2,39	0,98	-	-	-	-	-
Removal of overhangs	ZNR	ZNR	-	0,75	0,16	0,406	1,00	0,50	0,10	0,27	0,682	1,03	0,86	-	-	-	-	-
Last delivery	ZNR	ZNR	-	0,46	2,9	0,788	0,50	0,34	0,40	0,08	0,589	0,35	0,33	-	-	-	-	-
Curve																		
Rough delivery	ZNR	ZNR	ZNR	1,85	0,81	0,435	3,10	0,58	1,90	0,70	0,401	1,92	1,81	1,89	1,04	0,557	3,07	0,1
Initial delivery	ZNR	ZNR	ZNR	0,94	1,04	1,098	2,07	0,11	1,00	0,57	0,523	1,72	0,09	1,00	0,75	0,733	2,00	0,11
Last delivery	ZNR	ZNR	ZNR	0,36	0,16	0,459	0,62	0,10	0,52	0,30	0,590	0,87	0,05	0,64	0,66	1,025	0,66	0,56



1-Differential curve, 2- Integral curve

Figure 1. Ovality  $o_p$  (a) and taper  $k_p$  (b) distribution curves of plungers after final processing



1-Differential curve, 2-Integral curve

Figure 2. Distribution curves of ovality  $o_p$  (a) and conicity  $k_p$  (b) of grooves after final processing

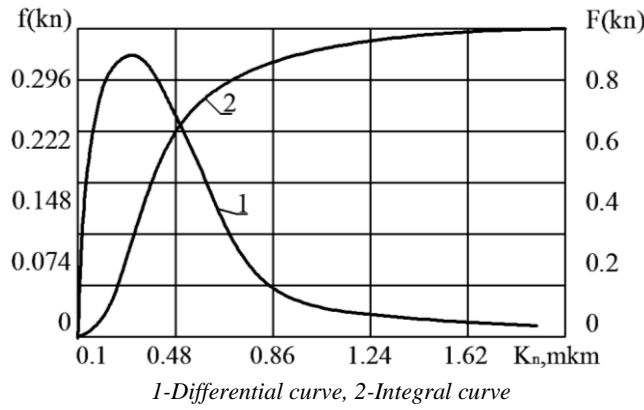


Figure 3. Distribution curves of the curvature of the gouges after finishing

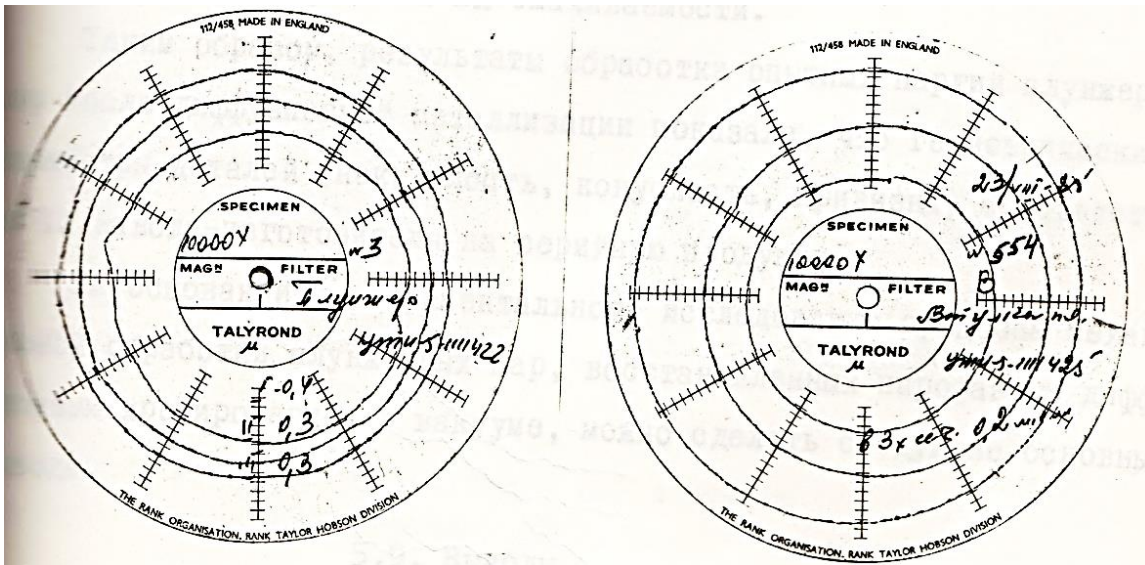


Figure 4. Circles of plungers and gouges after finishing

After the final completion, the geometrical parameters of all the carvings were within acceptable limits. During mechanical processing, all 100 plungers had geometrical parameters with accuracy within the limits that could be released by the manufacturer-factory.

After final processing, the pre-tension surface of the plungers has a mirror-glossy surface ( $R_a=0.03..0.04 \mu\text{m}$ ), but at the same time, small depressions - small pores were detected on the surface of the plunger during profilography. The formation of these pores can be explained by the removal of soft constituents located on the surface of the coating during mechanical processing. Pores on the pretension surfaces do not extend to great

depths, so they will not significantly affect the performance of the plunger pairs, but at the same time, they can also have a positive effect on their washing [4-9].

Thus, the results of processing test batches of plunger pairs after diffusion metallization showed that the geometrical parameters of the details (non-roundness, conicity, curvature) meet the technical conditions of the manufacturer-plant for serial production [5-10].

The following conclusions can be reached on the basis of experimental studies of the process of mechanical processing of piston pairs restored by vapor phase diffusion chromating in vacuum.

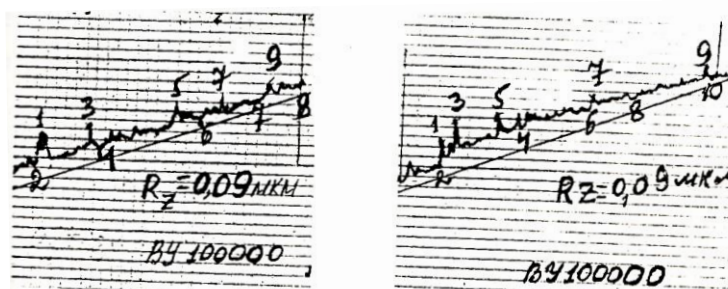


Figure 5. Profilogram of the plunger (a) and the notch (b) after finishing

### Conclusions

1. In modern times, when strengthening and restoring the preview details of high-pressure fuel pumps of ship engines, repair facilities are subject to strict conditions from different points of view: economic, technological process, working conditions, environmental safety and energy costs.

2. When developing a mathematical model, it is more expedient to use the theoretical foundations of production functions. In this case, it is possible to assess the

effectiveness of certain costs that make up the technological process and choose the optimal method of recovery of worn parts of high-pressure fuel pumps of ship engines.

3. The theoretical basis of the technological process of restoration of worn parts should be based on the methods of restoration to ensure the required reliability of the restored parts. The optimal method of restoring worn parts will solve a number of problems by minimizing the cost of operating high-pressure fuel pumps of ship engines.

### Reference:

1. Астахов И.В. и др. Подача и распыливание топлива в дизелях. -М.: Машиностроение, 1971.-359 с.
2. Адлер Ю.Л., Марков Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976.- 279 с.
3. Антропов Б., Слабов Е. Еще раз о пылевом износе//Автомобильный транспорт, 2001, № 9, с. 35-38
4. Андрейкив А.Е., Чернец М.В. Оценка контактного взаимодействия трущихся деталей машин. Киев, Наукова думка, 1991, 154 с.



**SURFACE QUALITY IN ABRASIVE TREATMENT OF CAR WINDOWS,  
PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE TREATED MATERIAL***Makhzuna Turdialieva**Assistant  
of Department "Life Safety"  
of Fergana Polytechnic Institute,  
Republic of Uzbekistan, Fergana***КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ СТЕКОЛ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА***Турдиалиева Махзуна Мухтаралиевна**ассистент  
кафедры Безопасность жизнедеятельности  
Ферганского политехнического института,  
Республика Узбекистан, г. Фергана  
E-mail: [naz1224@yandex.ru](mailto:naz1224@yandex.ru)***ABSTRACT**

This dissertation identifies the most optimal conditions for the process of forming the surface of a cylindrical part machined on automated technological equipment under the influence of aerodynamic motion, studies the relationship between the physical and mechanical properties of the workpiece and the output characteristics.

**АННОТАЦИЯ**

В данной статье определяются наиболее оптимальные условия процесса формирования поверхности цилиндрической детали, обрабатываемой на автоматизированном технологическом оборудовании под действием аэродинамического движения, исследуется связь между физико-механическими свойствами заготовки и выходными характеристиками.

**Keywords:** vacuum plastic, PVB, cellulose, EVA, TPU, silicone-rubber, nitrate.

**Ключевые слова:** вакуумный пластик, ПВБ, целлюлоза, ЭВА, ТПУ, силикон-каучук, нитрат.

Surface quality during abrasive treatment of car windows depends on the physical and chemical properties of the treated material, technological parameters and properties of the abrasive material, geometric dimensions and mechanical properties of the abrasive material. Also, in the creation of new MSTV, the brittleness of the material and the temperature in the cutting zone, high processing speed and other

factors must be taken into account. The maximum effectiveness of various MSTV is characterized by its high functional properties, i.e. cooling, washing, lubrication. The development of MSTV for a specific material

should be based on an in-depth and comprehensive study of the physical and chemical processes in the shear zone. The effectiveness of MSTV will need to be tested experimentally along with theoretical justification based on its physicochemical properties.

The practical part of the research was conducted at "Avtooyuna" LLC in Fergana. Currently, this enterprise produces windows for passenger cars.

The experiments were carried out on the VVT-0210 model glass edge grinding machine. X100 brand diamond abrasive tool made in the USA company "SuperCut"



*Figure 1. General view of the VVT-0210 window edge grinding machine*

In order to reduce the time of the experiment and ensure the validity of the obtained results, and on this basis, to obtain the MSTV with the optimal composition, a transducer of the GT250 model was used as a sensor. Electroacoustic conversion coefficient of the sensor is 90 dB per 1V/m/s, operating frequency 50kGs, bandwidth 40-100 kGs, supply voltage 12V, supply current 30 mA,

used. [2]

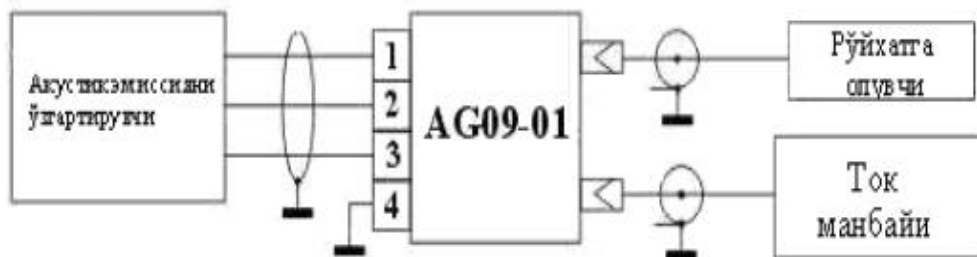


Figure 2. Acoustic emission converter connection diagram

AG09-01 is a spacer. To receive a vibroacoustic signal, a piezoelectric sensor with a frequency of 0.5 MHz is glued to the head with a cutting tool. Start and main

operating temperature range - 40...+1000s. AG09-01 spacer and amplifier are connected to the sensor. The amplifier is also located inside this sensor. The stabiltron does not transmit signals higher than 5 volts. As an analog-to-digital converter, from the analog-to-digital converter model L-783.

the signal coming from the sensor amplifiers amplify and also filter using band-pass filters built into the amplifier [3].

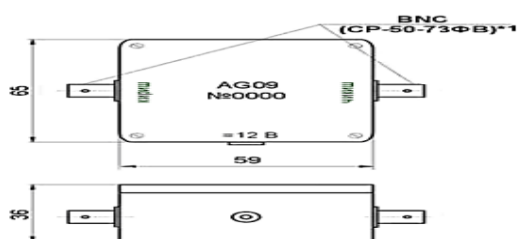
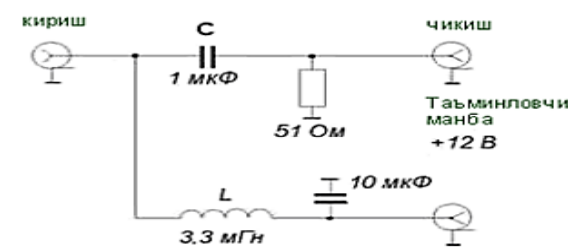


Figure 3. External view of the AG09 spacer

For high frequency, the transmission frequency is taken as 100 KGs. Eliminates noise caused by various sounds and vibrations. The pass frequency of the low-pass filter is set to 40 KGs. It is based on the indirect determination of cutting force in common methods of diagnosis of metalworking, in which the deformation under the influence of force is carried out using tensometric sensors or measuring acceleration. The program "PowerGraph 3.x Professional" was used for signal processing. "PowerGraph" program serves for block recording of the results of analog numerical transformations. The program allows you to perform various operations on the data block: reorder, edit, delete and copy. Any number of frequencies can be used to record data. But the maximum recording frequency is limited by ATsP capabilities. (with the time required for one analog-to-digital converter). The program automatically determines the maximum value of the recorded frequency for the ATsP used and does not record a higher frequency. In addition, the number of recording channels in most types of ATsP plays a key role, recording the maximum frequency can be done only in one channel. Several methods of signal visualization are used during data logging. We studied the dependence of cutting intensity



and surface cleanliness on vibroacoustic signals from the cutting environment in order to increase the reliability of the experimental results and reduce the time and costs. Experiments revealed that the amplitude and frequency of vibroacoustic signals change depending on the cutting intensity and surface cleanliness.

MSTV when experiments were conducted using its composition at different cutting speeds, it was found that the surface roughness varied up to 1 μm. The change in the amplitude of the vibroacoustic signal is directly proportional to the change in the surface cleanliness [4]. Experimental results showed that isopropyl alcohol 0.2% solution in water showed the best results. It was found that due to the chemical effect of its aqueous solution on the processing environment, it causes chemical processes on the surface of the processed surface of the glass that have a positive effect on the speed of processing and the quality of the surface. It was found that the 10% solution of ethylene glycol in water allows controlling heat phenomena during the processing process due to its good cooling properties. The water solution of the ready-made detergent can have a positive effect on the treatment process due to the SFM contained in it, but due to one drawback, it is not possible to use them widely at the

moment. Their aqueous solutions are highly foamable. If this drawback is eliminated by means of antifoam agents, aqueous solutions of detergents can become inexpensive and effective MSTV. [5]

The results of the conducted research show that if the cooling lubricant liquid produced and processed at "Avtooyna" LLC is reused, by adding certain additives, high efficiency is achieved and it affects the price of the product to a certain extent.

### Conclusions

Research results show that the grinding speed increases with the increase in the grain size of the grinding wheels. This relationship is linear between 3 and 20  $\mu\text{m}$ .

Grinding slows down when processed with larger grains. The reasons for the favorable performance of SFM solutions for the quality of the surface are their surface activity, which provides high lubricity, reduced shear stress, and reduced fineness properties of the glass. Additives of SFM and alcohol in a multi-component water solution reduce the hardness of glass by 5.9%, decrease the cutting force by 1.5 times, as a result, a decrease in the force load in the collision area is ensured.

5-7% economic efficiency is achieved if the water collector in the cooling lubrication process proposed by us is built and the water in the collected water basin is processed.

### References:

1. Туйчиев И.И., Валиев Г.Н., & Ахунбабаев У.О. (2017). СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРЫХЛЕНИЯ ШЕЛКОВОГО ВОЛОКНА. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX), (1), 362-366.
2. Туйчиев И.И., Валиев Г.Н., Ахунбабаев У.О., & Набиева И.А. (2016). РЕЖИМЫ ОТВАРКИ НЕПРИГОДНЫХ К РАЗМОТКЕ ДЕФЕКТНЫХ КОКОНОВ. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX), (1-1), 327-332.
3. Ахунбабаев У.О., & Туйчиев И.И. (2015). Совершенствование технологии производства и повышение качества шелка-сырца на современных оборудованьях. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX), (1), 225-228.
4. Муродов Р.М., Аксунбабаев У.О., Эргашов М. (2019). ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ОЦЕНКИ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РУЛОНА НАМОТОЧНОЙ МАШИНЫ КМС-10. Текстильный журнал Узбекистана, 7 (1), 42-47.
5. Муродов Р.М., Аксунбабаев У.О. И Эргашов М. (2019). ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ОЦЕНКИ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ КОНСТРУКТИВНЫМИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ КАТУШКИ. Текстильный журнал Узбекистана, 2(1), 8.
6. Khamrokulov G.H., Turdaliyeva M.M., & Samatov A.A. (2021). ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ ЖИРА В СЫРАХ ПЛАВЛЕННЫХ 20-30 СОДЕРЖАНИЕМ ЖИРА. Theoretical & Applied Science, (1), 151-156.
7. Ахунбабаев Улугбек Охунжонович, Тургунбеков Ахмадбек Махмудбек Ўғли, & Асоров Гапдирашид Газнаевич (2023). ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЦЕССА КОКОНОМОТАНИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЕЛКА-СЫРЦА. Universum: технические науки, (4-3 (109)), 65-67.
8. Makhzuna T. (2021). QUALITY CONTROL METHODS FOR TURKEY MEAT PRODUCTS. Бюллетень науки и практики, 7(12), 92-96.
9. TURDIALIEVA M. (2021). BULLETIN OF SCIENCE AND PRACTICE. BULLETIN OF SCIENCE AND PRACTICE Учредители: Овечкина Елена Сергеевна, 7(12), 92-96.

## METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

STUDY OF THE SOLUBILITY OF ZINC FERRITE IN A MIXTURE  
OF CITRIC AND SULFURIC ACIDS**Jonibek Ismailov**

Doctoral student of "Metallurgy" department,  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent  
E-mail: [jonibekismailov1001@gmail.com](mailto:jonibekismailov1001@gmail.com)

**Bakhriddin Berdiyarov**

DSc., Associate Professor,  
Head of the "Technological Metals and Clusters" Department,  
Ministry of Mining and Geology of the Republic of Uzbekistan,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Shokhrukh Khojiev**

Associate professor  
of "Metallurgy" department, PhD,  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent  
E-mail: [hojiyevshohruh@yandex.ru](mailto:hojiyevshohruh@yandex.ru)

**Kakhramon Ochildiev**

Associate professor  
of "Metallurgy" department, PhD,  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ФЕРРИТА ЦИНКА  
В СМЕСИ ЛИМОННОЙ И СЕРНОЙ КИСЛОТ**Исмаилов Жонибек Бахадирович**

докторант кафедры «Металлургия»  
Ташкентского государственного технического университета,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент

**Бердияров Бахриддин Тиловабулович**

д-р техн. наук, доцент,  
зав. отделом «Технологические металлы и кластеры»  
Министерства горного дела и геологии Республики Узбекистан,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент

**Хожиев Шохрух Тошпулатович**

и.о. доцент кафедры «Металлургия», PhD,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент

**Очилдиев Кахрамон Тоштемирович**

и.о. доц. кафедры «Металлургия», PhD,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент

**ABSTRACT**

In the paper, since the main component containing zinc in zinc cake is zinc ferrite, the research work studied the thermodynamic aspects of the process to reduce ferric iron in zinc ferrite to ferrous state under the influence of citric acid. Based on the results of thermodynamic analysis, it was established that the limiting stage among the chemical reactions occurring in the system of zinc ferrite and a mixture of citric and sulfuric acids is the stage of mutual chemical interaction of zinc ferrite and citric acid. Accordingly, the optimal temperature required for the complete reaction of zinc ferrite with citric acid was 338 K (65 °C). By studying the kinetics of the process, it has been proven that the equilibrium constants of the reactions of dissolution of zinc and iron oxides in sulfuric acid, transformed into individual forms due to the reduction of zinc ferrite at the same temperature, have high values.

**АННОТАЦИЯ**

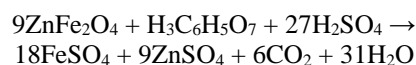
В статье, поскольку основным компонентом, содержащим цинк в цинковом кеке, является феррит цинка, в ходе исследовательской работы были изучены термодинамические аспекты процесса с целью восстановления трехвалентного железа в феррите цинка до двухвалентного состояния под воздействием лимонной кислоты. По результатам термодинамического анализа установлено, что лимитирующей стадией среди химических реакций, протекающих в системе феррита цинка и смеси лимонной и серной кислот, является стадия взаимного химического взаимодействия феррита цинка и лимонной кислоты. Соответственно, оптимальная температура, необходимая для полной реакции феррита цинка с лимонной кислотой, составила 338 К (65 °С). Путем изучения кинетики процесса доказано, что константы равновесия реакций растворения оксидов цинка и железа в серной кислоте, перешедших в отдельные формы за счет восстановления феррита цинка при той же температуре, имеют высокие значения.

**Keywords:** thermodynamics, zinc ferrite, pyrite, citric acid, reduction process, Gibbs free energy, equilibrium constants, temperature, kinetics.

**Ключевые слова:** термодинамика, феррит цинка, пирит, лимонная кислота, процесс восстановления, свободная энергия Гиббса, константы равновесия, температура, кинетика.

Finding a means for hydrometallurgical processing of zinc ferrite in the presence of a reducing agent that can satisfy all the requirements for a reducing agent is one of the important tasks of zinc metallurgy today [1]. Taking this into account, in this research work, the use of citric acid (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>) was recommended and its effect on the process was studied [2]. Citric acid (or citric acid) is a water-soluble, harmless, and relatively inexpensive restorative [3]. Citric acid is preferred over other regenerating agents as it maintains an acidic environment in the solution [4]. The complete molecular equation for the

chemical reaction of zinc ferrite by reduction with citric acid followed by selective dissolution of the remaining solid in sulfuric acid is as follows:



Thermodynamic values of all substances involved in the reactions were calculated for standard conditions, and their initial values are listed in Table 1 [5].

**Table 1.****Corresponding thermodynamic quantities of substances (at 298 K)**

Substances	$\Delta H^\circ$ , kJ/mol	$\Delta G^\circ$ , kJ/mol	$\Delta S^\circ$ , J/(mol·K)
ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	-1182	-1077	153.3
H <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	-1540.1	-1412.1	213.7
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-814.2	-690.3	156.9
FeSO <sub>4</sub>	-927.59	-819.77	107.53
ZnSO <sub>4</sub>	-981.4	-870.12	110.54
CO <sub>2</sub>	-393.51	-394.38	213.67
H <sub>2</sub> O	-285.83	-237.25	70.08

Using the values given in Table 1, the results of chemical reactions of sulfidation of magnetite with technical sulfur under standard conditions were calculated according to Hess's law and are presented in Table 2.

**Table 2.****Values of zinc ferrite reduction with citric acid at standard conditions (298 K)**

$\Delta H_{\text{reac}}$ , kJ/mol	$\Delta G_{\text{reac}}$ , kJ/mol	$\Delta S_{\text{reac}}$ , J/(mol·K)
-2589.5	-2564.8	555.2

From the values of thermodynamic calculations presented in Table 2 under standard conditions, it can be seen that the reaction of recovery of zinc ferrite with citric acid in a sulfuric acid environment is an exothermic reaction, and its standard Gibbs energy values are negative, that is, the reaction occurs spontaneously at 298 K. The increase in entropy in the particles formed in the system of reductive selective melting reactions increases the diffusion of the formed gases and prepares a favorable ground for the next stage of oxidation-reduction processes [6-7].

Based on the conclusion drawn from the values in Table 2, the corresponding mathematical equation of the relationship between the effects of the increase in temperature on the recovery reaction was constructed, and it looks like this:

$$\Delta G^T = -2589,5 - 0,5552 \cdot T$$

Based on the calculated mathematical expression, the probability of occurrence of the chemical process of regeneration was determined when the temperature in the reaction system increases by every 10 units. The obtained results are presented in Figure 1.

Figure 1 shows the corresponding Gibbs energies of the selective dissolution chemical reaction of reducing zinc ferrite with citric acid in a sulfuric acid environment in the temperature range of 298 - 438 K (i.e., 25 - 165 °C). This can also be seen clearly in Figure 1 in the form of an Ellingham diagram.

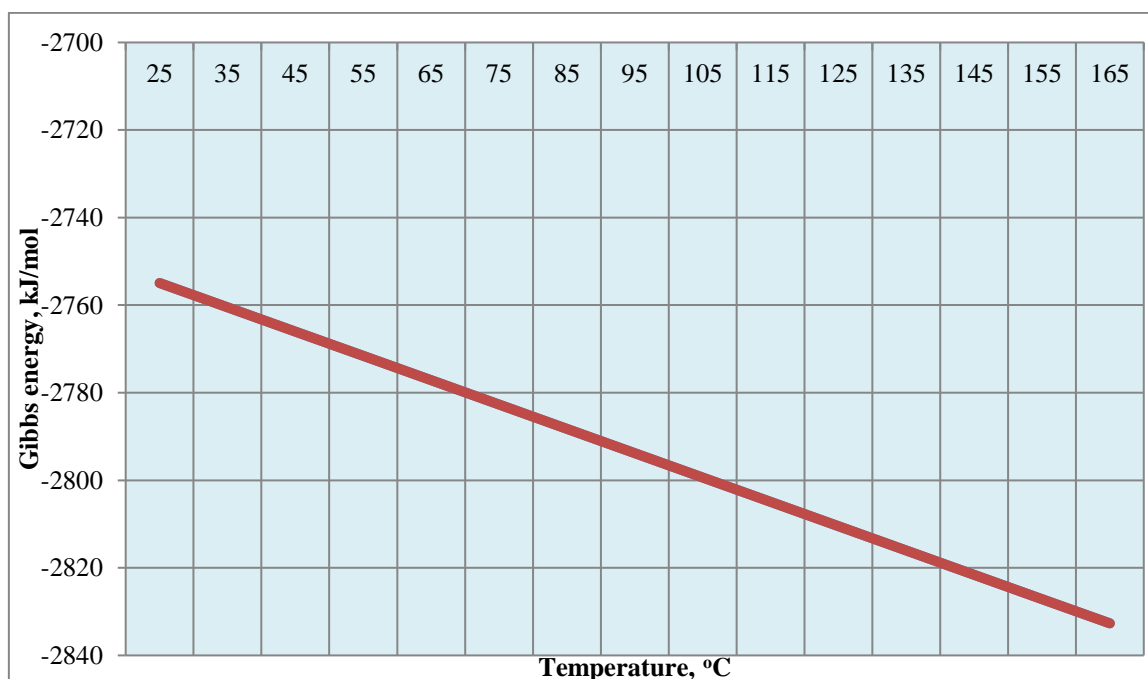


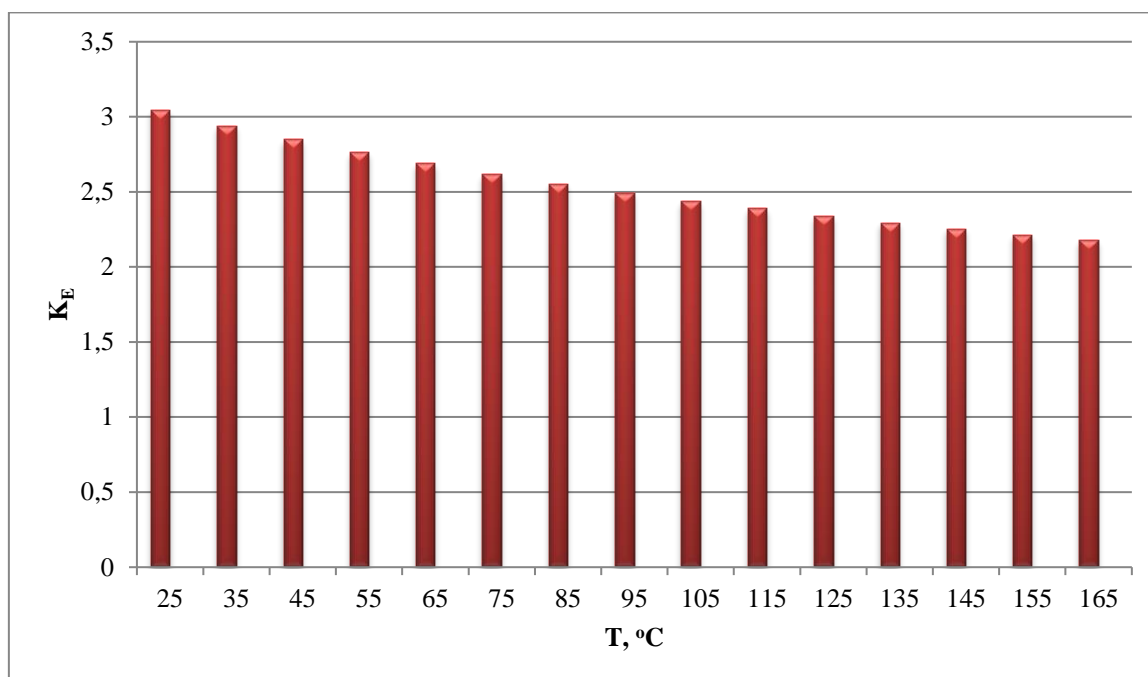
Figure 1. Ellingham diagram of the reaction flow for the reduction of zinc ferrite with citric acid

In the graph shown in Fig. 1, the equilibrium constants of the chemical reactions at the given temperatures for the reduction reaction were determined based on the equation of the relationship between temperature and Gibbs energy and the values of free energies of the chemical reaction of the addition of zinc ferrite with citric acid, and these values are presented in Fig. 2.

From the graph depicted in the form of histograms in Fig. 2, it can be understood that when the temperature used in typical hydrometallurgical processes reaches 338 K (65 °C), the equilibrium constant for the formation of metal sulfates in the selective melting of zinc ferrite

in the presence of citric acid in a sulfuric acid environment reaches its optimal value ( $K_E=2.688$ ).

The result of the thermodynamic and kinetic analysis of zinc ferrite reduction with citric acid showed that with increasing temperature, the probability of reaction increases, but the equilibrium constant of the reaction decreases. This can be attributed to the fact that the selective melting process is exothermic. Increasing the temperature above 65 °C has a negative effect on the equilibrium constant of the reaction and causes a decrease in the rate of the chemical reaction [8-9].



**Figure 2.** Variation of the equilibrium constant during the reduction of zinc ferrite with citric acid as a function of temperature

The importance of studying this process is that the zinc sulfate formed as a result of the reaction is separated electrolytically. Before that, it is necessary to clean the solution from additional elements. In addition, due to the dissolution of iron and zinc in the solids remaining from the selective melting of zinc smelting cakes, the amount

of rare metals in it increases and reaches a level that is effective in production. These metals can also be extracted using selective smelting. This makes it possible to introduce waste-free technology and increase the level of environmental protection.

#### References:

1. Бердияров Б.Т., Хасанов А.С., Исмаилов Ж.Б., Ҳоҗиев Ш.Т. Рух ишлаб чиқариш куйиндиларини қайта ишлаш технологиясини такомиллаштириш // Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов. – 2022. – С. 434-437.
2. Khojiev Sh.T., Toshpulatov D.D., Berdiyarov B.T., Ismailov J.B. Thermodynamic analysis of aluminothermic reduction of metal oxides // Practical and innovative scientific research: current problems, achievements and innovations. – 2021. – P. 207 – 208.
3. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Ismailov J.B., Alamova G.Kh. Thermodynamic aspects of the process of reducing zinc ferrite with elemental sulfur // Texnika yulduzlari. – 2022. – №. 4. – P. 75-79.
4. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Ismailov J.B., Alamova G.X. Rux zavodi keklarini sulfidlash texnologiyasini ishlab chiqish // Texnika yulduzlari. – 2022. – №. 4. – P. 84-90.
5. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Ismailov J.B., Matkarimov S.T., Ismatov Sh.O. Selective reduction of trivalent iron in zinc ferrite using elemental sulphur // *Technical science and innovation*. – 2022. – №. 3. – P. 51-59.
6. Berdiyarov B.T., Ismailov J.B., Khojiev Sh.T., Matkarimov S.T. Reduction of zinc cake by hydrogen ( $H_2$ ) in a weakly reducing gas atmosphere // *Energy-Earth-Environment-Engineering*. – 2022. – P. 31.
7. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Ismailov J.B., Gapparova M.M. Rux ferritini elementar oltingugurt bilan tiklash jarayonining termodinamik jihatlari // *Kompozitsion materiallar*. – 2022. – №. 3. – P. 65-69.
8. Khojiev Sh.T., Saidova M.S., Mirzajonova S.B., Ibrokhimov H.X., Ismatov Sh.O'. Development of Technology for Processing Zinc Cakes Based on the Use of Petroleum Coke // *International Journal of Academic Engineering Research*. – 2022. – T. 6. – №. 6. – P. 23-28.
9. Khojiev S.T., Nuraliev O.U., Berdiyarov B.T., Matkarimov S.T., Akramov O'.A. Some thermodynamic aspects of the reduction of magnetite in the presence of carbon // *Universum: технические науки*. – 2021. – T. 3. – №. 84. – С. 60-64.

**THERMODYNAMICS OF REDUCTION OF ZINC FERRITE BY PYRITE****Jonibek Ismailov**

Doctoral student of "Metallurgy" department,  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent  
E-mail: [jonibekismailov1001@gmail.com](mailto:jonibekismailov1001@gmail.com)

**Bakhriddin Berdiyarov**

DSc., Associate Professor,  
Head of the "Technological Metals and Clusters" Department,  
Ministry of Mining and Geology of the Republic of Uzbekistan,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Shokhrukh Khojiev**

Associate professor of "Metallurgy" department, PhD,  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent  
E-mail: [hojiyevshohruh@yandex.ru](mailto:hojiyevshohruh@yandex.ru)

**Kakhramon Ochildiev**

Associate professor of "Metallurgy" department, PhD,  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**ТЕРМОДИНАМИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФЕРРИТА ЦИНКА ПИРИТОМ****Исмаилов Жонибек Бахадирович**

докторант кафедры «Металлургия»  
Ташкентского государственного технического университета,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент

**Бердияров Бахриддин Тиловабулович**

д-р техн. наук, доцент,  
зав. отделом «Технологические металлы и кластеры»  
Министерства горного дела и геологии Республики Узбекистан,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент

**Хожиев Шохрух Тошпулатович**

и.о. доц. кафедры «Металлургия», PhD,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент

**Очилдиев Кахрамон Тоштемурович**

и.о. доц. кафедры «Металлургия», PhD,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент

**ABSTRACT**

The thermodynamics of reducing trivalent iron in zinc ferrite to divalent iron using pyrite as a reducing agent were investigated. This study aimed to elucidate the feasibility of the reduction process and assess the underlying thermodynamic principles. The Gibbs free energy change for the reduction reaction was calculated using thermodynamic data and equilibrium constants at various temperatures. The results indicate that the reduction of trivalent iron in zinc ferrite to divalent iron using pyrite is thermodynamically favourable under certain conditions. Factors such as temperature, pressure, and initial reactant concentrations play crucial roles in influencing the thermodynamic feasibility. The findings of this study provide valuable insights into the potential applications of pyrite as a reducing agent for transforming metal oxides in various industrial processes.



## АННОТАЦИЯ

Исследована термодинамика восстановления трехвалентного железа в феррите цинка до двухвалентного железа с использованием пирита в качестве восстановителя. Это исследование было направлено на выяснение возможности процесса восстановления и оценку основных термодинамических принципов. Изменение свободной энергии Гиббса реакции восстановления рассчитывали с использованием термодинамических данных и констант равновесия при различных температурах. Результаты показывают, что восстановление трехвалентного железа в феррите цинка до двухвалентного железа с помощью пирита термодинамически выгодно при определенных условиях. Такие факторы, как температура, давление и начальная концентрация реагентов, играют решающую роль в влиянии на термодинамическую осуществимость. Результаты этого исследования дают ценную информацию о потенциальном применении пирита в качестве восстановителя для преобразования оксидов металлов в различных промышленных процессах.

**Keywords:** thermodynamics, redox reaction, trivalent iron, divalent iron, zinc ferrite, pyrite, reduction process, Gibbs free energy, equilibrium constants, temperature, kinetics.

**Ключевые слова:** термодинамика, окислительно-восстановительная реакция, трехвалентное железо, двухвалентное железо, феррит цинка, пирит, процесс восстановления, свободная энергия Гиббса, константы равновесия, температура, кинетика.

Zinc cake processing is an important process for extracting zinc from ores and producing high-quality zinc metal for use in a variety of industrial and commercial applications. Pyrometallurgical methods refer to processes that involve the use of high temperatures to extract metals from ores or other materials [1]. In the case of zinc cake, which is a byproduct of zinc refining, pyrometallurgical methods are commonly used to recover zinc [2].

The exact mineralogical content of zinc cake can be determined through mineralogical analysis techniques such as X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and electron probe microanalysis (EPMA) [3-5].

When the composition of zinc production cakes was analysed using the above methods of analysis, it was found that the main part of zinc oxide in its content is in the form of zinc ferrite [6]. Therefore, zinc production cakes were chosen as the research object.

Zinc ferrite, the main component of zinc cake, is resistant to acid and alkali, so it needs to be treated with various reducing agents before hydrometallurgical processing [7].

In this study, pyrite concentrates produced in copper beneficiation plants were selected as a reducing agent.

Thermodynamic analyzes were conducted taking into account the dependence of isobaric-isothermal potentials (Gibbs free energy) on temperature [8]. The Gibbs free energy change ( $\Delta G$ ) is generally calculated using the following formula:

$$\Delta G_{\text{reac}} = \Delta H_{\text{reac}} - \Delta S_{\text{reac}} T$$

Where:  $\Delta H_{\text{reac}}$  is the enthalpy of the corresponding chemical reaction, kJ/mol;

$\Delta S_{\text{reac}}$  is the entropy of the corresponding chemical reaction, J/(mol·K);

T is the absolute temperature of the system, K.

Information about the standard thermodynamic values of the substances involved in the reactions under consideration was determined from the appendix presented in the work [9], and these values are presented in Table 1.

Table 1.

Thermodynamic values of substances

Substances	$\Delta H_{298}$ , kJ/mol	$\Delta G_{298}$ , kJ/mol	$\Delta S_{298}$ , J/(mol·K)
ZnO · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	- 1182,0	- 1077,0	153,3
FeS <sub>2</sub>	- 163,2	- 151,84	52,93
ZnO	- 350,62	- 320,66	43,64
FeO	- 272	- 251,46	60,75
SO <sub>2</sub>	- 296,9	- 299,16	248,07

The temperature dependence of the reaction equilibrium constant ( $K_e$ ) was determined by the following formula:

$$\Delta G = - R T \ln K_e$$

Where: R is the universal gas constant, R = 8.31696 · 10<sup>-3</sup> kJ/(grad·mol);

$K_e$  is the equilibrium constant of the corresponding chemical reaction.

In order to reduce trivalent iron in zinc ferrite, a concentrate containing pyrite mineral was used in the research work. It was recommended to use a rotary kiln to ensure sufficient interaction between the two solid phases. Because this is the first condition for the chemical reaction when the kiln rotates - zinc ferrite and pyrite particles diffuse well between each other. In this case,

the rotation speed of the furnace was 0.4 revolutions/minute. The oxidation-reduction reaction between zinc ferrite and pyrite can be written as follows:



Using the thermodynamic values under standard conditions given in Table 1, the general formula for the change in Gibbs energy for a chemical reaction is written as follows:

$$\Delta G_{\text{reac}} = 734.3 - 0.56316T$$

Based on the above formula, the changes of the free energy and equilibrium constants of zinc ferrite reduction reaction at several temperatures were calculated and these values are presented in Fig.1. The values of the Gibbs energy and equilibrium constant of the reaction were calculated when the temperature in the system changes every 50 units. The results of the thermodynamic analysis presented in Fig.1 show that the reduction reaction of zinc ferrite in the presence of pyrite is an endothermic reaction, so the increase in temperature in the system accelerates the rate of the chemical reaction going in the right direction, and as a result, the value of the equilibrium constant increases according to the mathematical law.

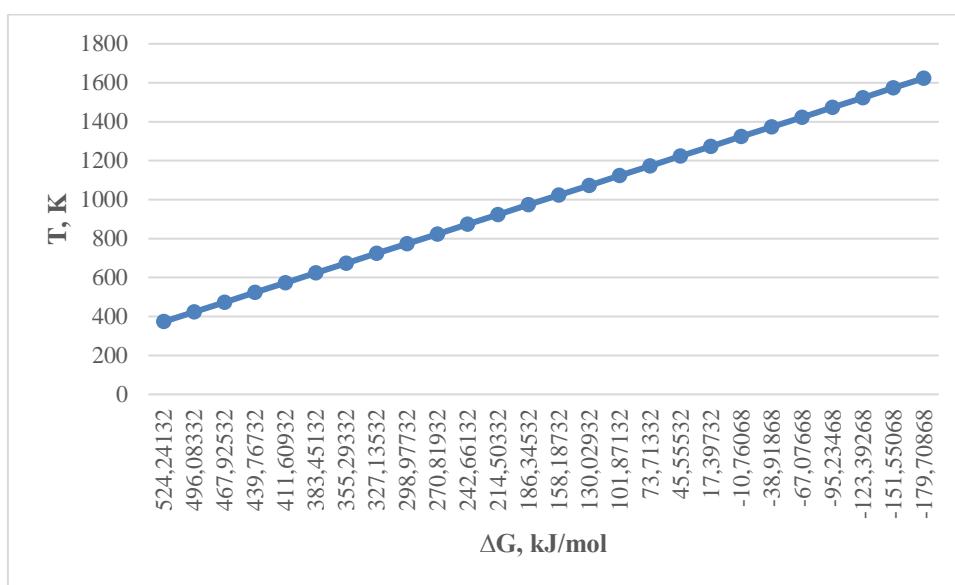


Figure 1. Changes in Gibbs energy during the reaction of zinc ferrite with pyrite

The graph in Fig.1 shows the Gibbs energy versus temperature for the reduction of trivalent iron in zinc ferrite by pyrite, and it can be seen from this graph that the free energy (ΔG) of the system for this case increases linearly with each 50 unit change in temperature decreases,

i.e. becomes negative. This means that when the temperature rises, the probability of the reaction of zinc ferrite with pyrite to flow increases. The oxidation-reduction reaction between zinc ferrite and pyrite begins at a temperature of 1304 K (1031 °C), at higher temperatures the Gibbs energy in the reaction system has negative values.

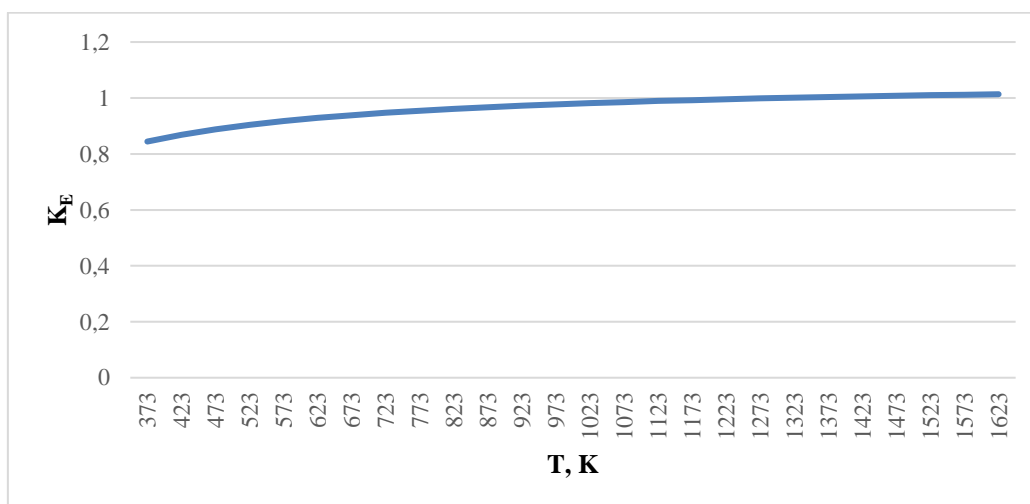


Figure 2. Variation of the equilibrium constant during the reduction of trivalent iron in zinc ferrite using pyrite depending on the temperature

Figure 2 shows the graph of the temperature dependence of the equilibrium constant of the reduction reaction of trivalent iron in zinc ferrite using pyrite. In this graph, it can be seen that the chemical equilibrium constant is greater than 1 between the temperatures of 1323 and 1623 K. In the temperature range of 1423-1473 K, the equilibrium constant of the reaction was sufficient for this reaction to proceed. Even at higher temperatures, the equilibrium constant has high values, but when the temperature exceeds 1523 K, some silicate-like materials in the raw material begin to liquefy. Liquefied substances stick to other materials and form large grains. This prevents the raw materials from diffusing into each other. In addition, when the temperature exceeds 1523 K, the probability of liquefied raw materials sticking to the inner wall of the furnace increases. This reduces the productivity of the oven and has a negative effect on the principle of operation.

The above thermodynamic analyzes show that the rate-limiting step of the reaction of zinc ferrite with pyrite is both a kinetic and a diffusion regime. This type of reaction is one of the main problems of today's non-ferrous metallurgy. In this case, increasing the productivity of the reaction depends on the number of collisions of molecules of reactants with each other and at the same

time on the temperature. In order to increase productivity in such reactions, it is necessary to increase the rate of diffusion of substances to each other, the temperature and the size of the reaction surface.

In conclusion, the thermodynamic analysis of reducing trivalent iron in zinc ferrite to divalent iron using pyrite reveals that the process holds promise for practical implementation. The negative values of Gibbs free energy change ( $\Delta G$ ) obtained under certain temperature and pressure conditions indicate the spontaneous nature of the reduction reaction. This suggests that the utilization of pyrite as a reducing agent has the potential to efficiently convert trivalent iron species into divalent iron, contributing to the modification of metal oxide compounds. However, it is essential to carefully consider the specific operating conditions to ensure favourable thermodynamics and optimal conversion rates. Further experimental studies are warranted to validate the theoretical findings and to address kinetic and practical challenges that may arise during the reduction process. Overall, the thermodynamic insights provided by this study offer a foundation for the design and optimization of processes involving the reduction of trivalent iron species using pyrite as a reducing agent.

#### References:

1. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Ismailov J.B., Alamova G.Kh. Thermodynamic aspects of the process of reducing zinc ferrite with elemental sulfur // *Texnika yulduzlari*. – 2022. – №. 4. – P. 75-79.
2. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Ismailov J.B., Alamova G.X. Rux zavodi keklarini sulfidlash texnologiyasini ishlab chiqish // *Texnika yulduzlari*. – 2022. – №. 4. – P. 84-90.
3. Berdiyarov B.T., Khojiev Sh.T., Ismailov J.B., Matkarimov S.T., Ismatov Sh.O. Selective reduction of trivalent iron in zinc ferrite using elemental sulphur // *Technical science and innovation*. – 2022. – №. 3. – P. 51-59.
4. Berdiyarov B.T., Ismailov J.B., Khojiev Sh.T., Matkarimov S.T. Reduction of zinc cake by hydrogen ( $H_2$ ) in a weakly reducing gas atmosphere // *Energy-Earth-Environment-Engineering*. – 2022. – P. 31.
5. Berdiyarov B.T., Hojiyev Sh.T., Ismailov J.B., Gapparova M.M. Rux ferritini elementar oltingugurt bilan tiklash jarayonining termodinamik jihatlari // *Kompozitsion materiallar*. – 2022. – №. 3. – P. 65-69.
6. Khojiev Sh.T., Saidova M.S., Mirzajonova S.B., Ibrokhimov H.X., Ismatov Sh.O'. Development of Technology for Processing Zinc Cakes Based on the Use of Petroleum Coke // *International Journal of Academic Engineering Research*. – 2022. – T. 6. – №. 6. – P. 23-28.
7. Бердияров Б.Т., Хасанов А.С., Исмоилов Ж.Б., Ҳожиев Ш.Т. Рух ишлаб чиқариш куйиндиларини қайта ишлаш технологиясини такомиллаштириш // *Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов*. – 2022. – С. 434-437.
8. Khojiev Sh.T., Toshpulatov D.D., Berdiyarov B.T., Ismailov J.B. Thermodynamic analysis of aluminothermic reduction of metal oxides // *Practical and innovative scientific research: current problems, achievements and innovations*. – 2021. – P. 207 – 208.
9. Khojiev S.T., Nuraliev O.U., Berdiyarov B.T., Matkarimov S.T., Akramov O'.A. Some thermodynamic aspects of the reduction of magnetite in the presence of carbon // *Universum: технические науки*. – 2021. – T. 3. – №. 84. – С. 60-64.

DOI: 10.32743/UniTech.2023.115.10.16125

**RESEARCH ELECTRICAL CONDUCTIVITY  
OF COPPER-CHROMIUM BASED POWDER ALLOY****Adham Alikulov***PhD student, Materials Science department,  
Tashkent State Technical University after Islam Karimov,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent***Begali Bektemirov***PhD student, Materials Science department  
Tashkent State Technical University after Islam Karimov,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent  
E-mail: [begalibektemirov94@mail.com](mailto:begalibektemirov94@mail.com)***Faizullah Norkhudjayev***Professor,  
Materials Science department  
Tashkent State Technical University after Islam Karimov,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent***Shohruh Tlovoldiyev***Assistant, Materials Science department  
Tashkent State Technical University after Islam Karimov,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent***ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОРОШКОВОГО СПЛАВА  
НА ОСНОВЕ МЕДИ И ХРОМА****Аликулов Адхам Холтожи угли***докторант кафедры “Материаловедение”  
Ташкентского государственного технического университет  
имена Ислама Каримова,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Бектемиров Бегали Шухрат угли***докторант кафедры “Материаловедение”  
Ташкентского государственного технического университет  
имена Ислама Каримова,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Норхуджаев Файзулла Рамазонович***профессор кафедры “Материаловедение”  
Ташкентского государственного технического университет  
имена Ислама Каримова,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Тловолдиев Шохрух Ибрагимович***ассистент кафедры “Материаловедение”  
Ташкентского государственного технического университет  
имена Ислама Каримова,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

### ABSTRACT

In this work, the electrical conductivity and electrical resistivity of samples of powder alloys based on copper and chromium were investigated. Samples were prepared with a pressing pressure of 400-500 MPa and a sintering temperature of 1100 °C. The results showed that the electrical conductivity of the alloy decreases rapidly with an increase in the percentage of chromium, and the electrical resistance increases.

### АННОТАЦИЯ

В данной работе были исследованы электропроводность и удельное электрическое сопротивление образцов порошковых сплавов на основе меди и хрома. Были приготовлены образцы с давлением прессования 400-500 МПа и температуре спекания 1100 °С. Результаты показали, что электропроводность сплава быстро снижается с увеличением процентного содержания хрома, а электрическое сопротивление увеличивается.

**Keywords:** Cu-Cr powder alloy, pressing, sintering, electrical conductivity, electrical resistance.

**Ключевые слова:** порошковой сплав Cu-Cr, прессование, спекание, электропроводность, электрическое сопротивление.

### Introduction

Globally, the demand for efficient powder composite materials for electrodes is growing every day, while the production of electrodes in powder metallurgy and increasing their service life are used in resistance spot welding machines, which are widely used in the automotive industry. In this aspect, the development of effective compositions and technologies for producing copper-based materials produced by powder metallurgy is important, including the characteristics and cost-effectiveness of materials used in the manufacture of electrodes used in resistance spot welding apparatus [1].

A copper-chromium-based composite alloy consists of brittle chromium and plastic particles of copper. Therefore, as a result of increasing pressing pressure and

sintering temperature, an increase in density and a decrease in porosity are observed. With an increase in the percentage of chromium, the hardness and tensile strength also increase. A powder composition with a high density is characterized by a high degree of interparticle interaction, which, in turn, improves in the electrical conductivity of the composite material [2-3].

### Research Methods

Electrical conductivity and electrical resistivity of samples of copper-chromium-based composite alloy was determined according to requirements given in GOST 15878-70. Samples with a size of 50x5x5 mm were prepared in determination of their electrical conductivity and electrical resistivity (Figure 1).



*Figure 1. Samples made of copper-chromium-based composition alloy*

The electrical resistance of the samples was determined using a F4104-M1 micrometer. The operation process of the micrometer is based on the measurement of the amount of voltage drop across the measured resistance when a current of a certain value passes through it [4-5].

The F4104-M1 micrometer consists of a power supply, current stabilizer, and filter measuring amplifier as well as a synchronization pulse generator.

Specifications of the F4104-M1 micrometer are as follows:

The limits of the permissible values of the basic error from the final value of the measurement range:

4% in range of 1-100 mΩ.

2.5% in range of 0-1 MΩ, 0-10 MΩ, 0-100 MΩ, 0-1 Ω.

1.5 Ω in the remaining ranges.

F4104 Micrometer measuring range – from 0-100 mΩ to 0-10 MΩ (12 ranges). Accuracy class 1.5; 2.5 and 4 mm<sup>2</sup> (depending on the measuring range).

According to the analyzed data, the electrical conductivity of copper-chromium-based composite alloy samples was determined by the following formula:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l_u}, \tag{1}$$

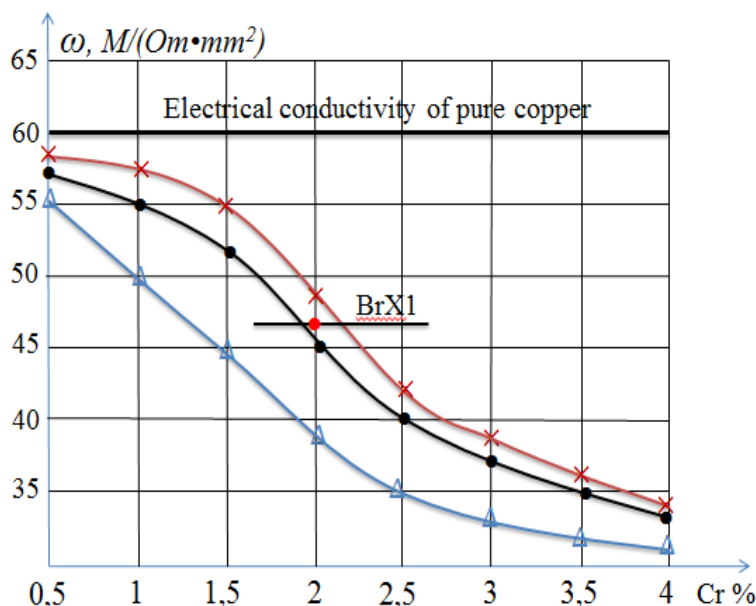
Where,  $R$  – electrical conductivity of the sample between of potential contacts,  $\Omega m$ ;  
 $S$  – sample surface,  $mm^2$ ;  
 $l_u$  – distance between potential contacts,  $mm$ .

**Research Results**

We know that the pressing pressure has the greatest effect on the density of a pressed sample of powder

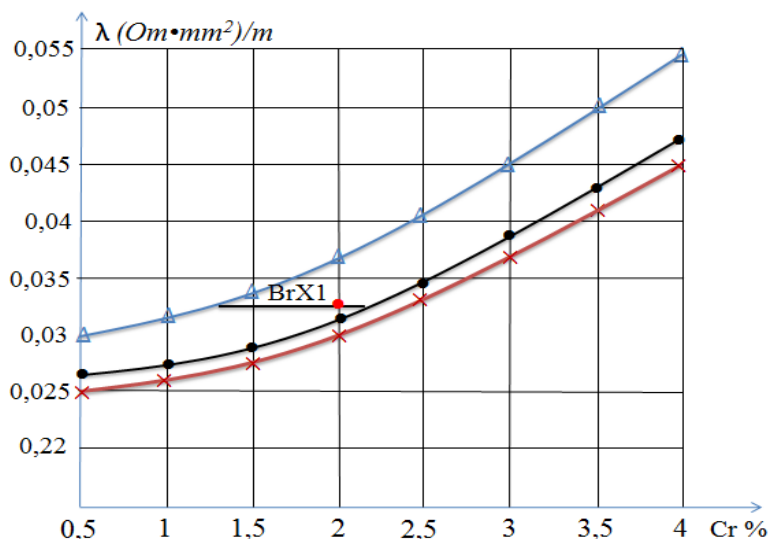
composite alloys. For electrical conductivity testing, samples with a pressing pressure of 400-500 MPa and an sintering temperature of 1100 °C were prepared. The temperature in the case when the sintering temperature of the sample is 1100 °C and that is sintering temperature with liquid phase, at this temperature it was possible to obtain the maximum density in all possible ranges of pressing pressure.

The results of the experiment on the electrical conductivity and electrical resistance of the copper-chromium-based powder alloy are given in Figures 2-3. From these graphs, as a result of the increase in the percentage of chromium in the alloy, the electrical conductivity of the alloy decreases rapidly, and the electrical resistance increases.



Δ - pressing pressure 400 MPa; × - pressing pressure 450 MPa; • - pressing pressure 500 MPa

Figure 2. Effect of chromium content on electrical conductivity of copper-chromium base composite alloy in a state with a sintering temperature of 1100 °C



Δ - pressing pressure 400 MPa; × - pressing pressure 450 MPa; • - pressing pressure 500 MPa

Figure 3. Effect of chromium content on electrical resistivity of copper-chromium base composite alloy in a state with a sintering temperature of 1100 °C

At the same time, the average results obtained in terms of electrical conductivity were observed in samples made of copper-chromium-based powder composite alloy with a chromium content of 1.5-2.0%. From the graphs obtained in Figures 2, it was found that the electrical conductivity of copper-chromium-based powder composite alloys with a chromium content of 1.5-2.0% gives 70-86% of the electrical conductivity of pure copper.

### Conclusion

Given the results obtained in terms of the electrical conductivity of the copper-chromium-based composition alloy, as well as the mechanical properties of the same alloy, it was concluded that the optimum amount of chromium should be 2% in the case when the chemical composition of the developed composition powder alloy has a pressing pressure of 450MPa and a sintering temperature of 1100 °C.

### References:

1. Williams B., Powder metallurgy – a global market review. In International Powder Metallurgy Directory & Yearbook, 13th edn 1, 2008/2009, pp. 5–14.
2. Claudiu Nicolicescu, M. Miclău, V.H. Nicoară. Wear Behavior of Materials Based on Cu/Cr and Cu/Cr/W used for Welding Electrodes”. “Web of Scientist: International Scientific Research Journal” Vol. 36, No. 4 (2014) 348-353.
3. H. Huh and W. Kang, “Electrothermal analysis of electric resistance spot welding processes by a 3-D finite element method,” Journal of Materials Processing Technology, vol. 63, no. 1–3, pp. 672–677, 1997.
4. A. Kh. Alikulov, U.N. Ruziev, F. Mengaliyev “Analysis of materials for contact spot welding electrodes”. “International Journal of Discoveries and Innovations in Applied Sciences (IJDIAS) ISSN 2792-3983” India. 2022 (12), P.13–16.
5. A.Kh. Alikulov, B.Sh. Bektemirov, F.R. Norkhudjaev, Z.B. Mirzarakhimova. Determination of Density of The Samples Made of Copper Based Materials // Best journal of innovation in science, research and development. ISSN: 2835-3579 volume:02 issue: 09/2023 P. 106-111.

**PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS**

DOI: 10.32743/UniTech.2023.115.10.16154

**HYDRAULIC EFFICIENCY OF COATED AND UNCOATED OPEN CHANNELS****Akhror Obidzhonov***Doctoral student,  
Tashkent State Transport University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent  
E-mail: [obidjonov0777@mail.ru](mailto:obidjonov0777@mail.ru)***Askar Babaev***Associate professor, (PhD)  
Tashkent State Transport University  
Republic of Uzbekistan, Tashkent***ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ С ПОКРЫТИЕМ  
И БЕЗ ПОКРЫТИЯ ОТКРЫТЫХ КАНАЛОВ****Ахрор Обиджонов***докторант  
Ташкентский Государственный Транспортный Университет  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Аскар Бабаев***доцент, (PhD)  
Ташкентский Государственный Транспортный Университет  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***ABSTRACT**

Currently, the problem of water shortage is getting worse every day. Sudden changes in atmospheric air also affect water reserves. With the world population expected to reach  $10^9$  by 2050, the world's water consumption will exceed 3.7 trillion cubic meters. In the last 15 years, the annual volume of water per capita in Uzbekistan has decreased from 3048 m<sup>3</sup> to 1589 m<sup>3</sup>. Based on these problems, the article made a theoretical analysis of the work to be done on water loss and its prevention. Empirical and analytical methods of determining water loss due to filtration in open riverchannels were studied. Analyzes of hydraulic efficiency, service life and construction costs of covered open channels, types of covering material were presented. The coatings with the least water filtration, the longest service life, and the most hydraulically efficient properties were compared. Based on the obtained results, conclusions are drawn on the convenient construction of uncoated and coated open watercourses.

**АННОТАЦИЯ**

В настоящее время проблема нехватки воды обостряется с каждым днем. Резкие изменения атмосферного воздуха также влияют на запасы воды. Ожидается, что к 2050 году численность населения мира достигнет  $10^9$  человек, а потребление воды в мире превысит 3,7 триллиона кубических метров. За последние 15 лет годовой объем воды на душу населения в Узбекистане снизился с 3048 м<sup>3</sup> до 1589 м<sup>3</sup>. На основании этих проблем в статье сделан теоретический анализ предстоящих работ по устранению и предотвращению потерь воды. Изучены эмпирические и аналитические методы определения потерь воды за счет фильтрации в открытых руслах рек. Приведены анализы гидравлической эффективности, срока службы и стоимости строительства крытых и открытых каналов, видов укрывного материала. Сравнивались покрытия с наименьшей фильтрацией воды, наибольшим сроком службы и наиболее гидравлически эффективными свойствами. На основании полученных результатов сделаны выводы об удобном строительстве открытых водотоков без покрытия и с покрытием.

**Keywords:** filtration, coating, open chanel, hydraulic efficiency, Geomembrane.**Ключевые слова:** фильтрация, покрытие, открытые каналы, гидравлическая эффективность, геомембрана.



**Introduction.** Today, the increasing water shortage in the world community and the development of new directions for solving water management problems are considered urgent issues. Many scientists of the world and our country have carried out theoretical and practical work on the issues of calculating and reducing the loss of water as a result of the filtration process [1,2]. As a result of the conducted research, theoretical and practical solutions of new directions of calculating the filtration process and solving problems of its reduction are being further developed [3,4].

Water loss in open water structures occurs as a result of evaporation into the atmosphere, seepage into the ground, and filtration in hydrotechnical structures in open basins. The loss of water through filtration in hydrotechnical structures in open valleys is insignificant and is usually not taken into account in calculations. Evaporative water loss is measured by the layer of water evaporated from the entire area of the water window in open water structures. Depending on climatic conditions, these losses range from 300 to 800 mm per year. The main water loss in open floodplains is caused by seepage into

the ground, which can lead to a loss of up to 50 % of water [6,10].

Concrete, reinforced concrete, asphalt-concrete, soil-sheeting, concrete-sheeting, bitumen and geomembranes have been widely used in the past 30-35 years to combat filtration in open watersheds [11,12].

Reducing the loss of water due to filtration in open water structures is an important current issue of the world and our country's water management today.

In the article, the loss of water as a result of filtration in open valleys is calculated, and it is aimed to solve the problems of water shortage, soil salinity, swamping by reducing filtration.

The main tasks of the work are to determine the hydraulic efficiency of coated and uncoated streams to reduce filtration, to study the types of coating, and to choose the most convenient coating material by comparison.

**Research object and method.** In order to study the effective operation of open channels, we will consider the advantages and disadvantages of open channels without coating and with different types of coating (Fig. 1).



**Figure 1.** open chanel without coating and with various coatings

The hydraulic efficiency of open watercourses is an important indicator, which takes into account unnecessary water losses due to filtration during transportation. The hydraulic efficiency of open watercourses is said to ensure minimum water loss and maximum water permeability during water transport. We used various empirical formulas to determine hydraulic efficiency.

We used N. Deskelesky's formula to express the hydraulic efficiency index -  $\eta_c$  of open riverchanel with two parameters:

$$\eta_c = \eta_t + \eta_i \quad (1)$$

here,  $\eta_t$  - the transport efficiency parameter describing the technical condition and permeability of the open riverchanel,  $\eta_i$  - the parameters of water distribution and use [3, 4].

M.A. that the indicator of hydraulic efficiency of open riverchannels is the ratio of the average speed of water movement to the speed in the most hydraulically favorable cross section. Having studied the researches of Latishenkov, we determined:

$$A_v = \frac{v}{v_{ef}} = 0,97 - 0,98 \quad (2)$$

The limit value of the hydraulically most favorable section was determined by the empirical formula proposed by R.R. Chugaev [7,8]:

$$(\beta_{g.s.})_{cross\ section} = 2.5 + m/2 \quad (3)$$

here, m- slope coefficient of the trapezoidal channel.

Continuous water losses in an open channel with soil were determined using the following formula for a trapezoidal open channel [9, 10, 12]:

$$\begin{aligned} \frac{b}{h} < 4 \quad Q_f &= 0,0116K\mu(B + 2h) \\ \frac{b}{h} > 4 \quad Q_f &= 0,0116K\mu(B + Ah) \end{aligned} \quad (4)$$

**Results of research.** Based on the research conducted using the formulas given above, it was found that the loss of water to the ground as a result of natural filtration in uncoated open channels increases depending on the water consumption and the length of the open channel, and leads to a decrease in the hydraulic efficiency of the open channel (Fig. 2 ).

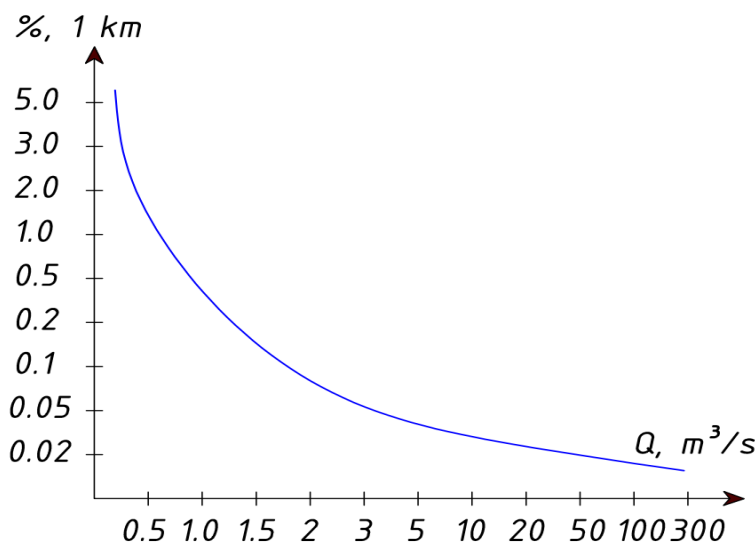


Figure 2. Loss of water per 1 km as a result of natural filtration in open valleys, %

The hydraulic performance indicators of reinforced concrete, asphalt concrete, bitumen and geosynthetic materials used to prevent water loss were calculated (Fig.3).

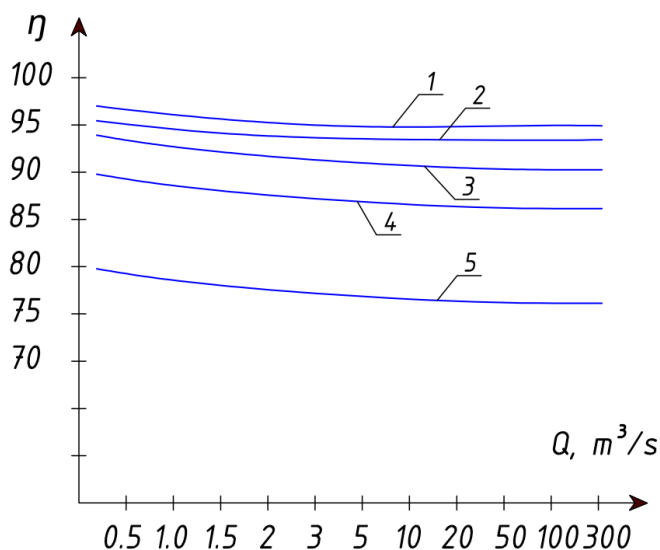
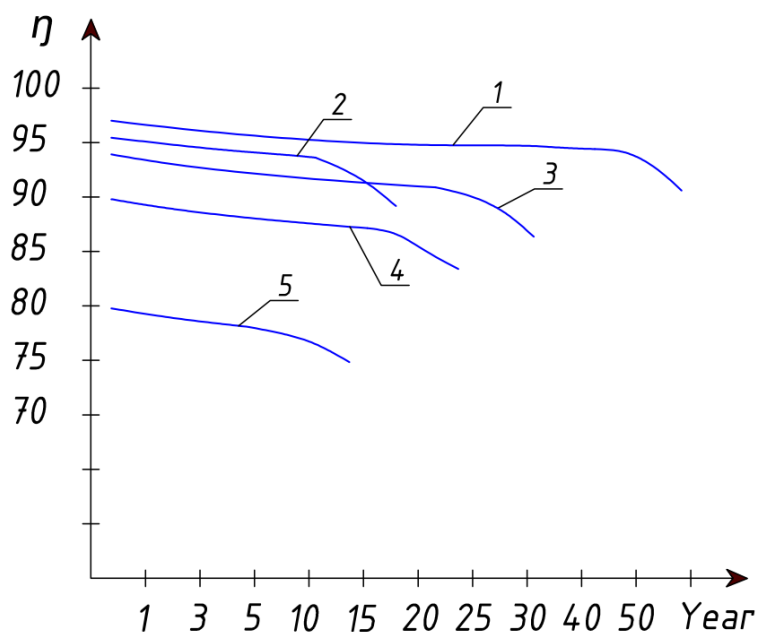


Figure 3. Hydraulic efficiency of open channels with different coatings, %.  
 1. Geomembrane; 2. Polymer sheeting; 3. Concrete and reinforced concrete; 4. Asphalt concrete; 5. Bitumen

When choosing the type of coating, we compared the coating materials in terms of the efficiency of use and prevention of water loss during transportation, and the results of the comparison are presented (Fig. 4).



**Figure 4.** Yearly changes in the hydraulic efficiency of open waterchanel with different coatings; 1. Geomembrane; 2. Polymer sheeting; 3. Concrete and reinforced concrete; 4. Asphalt-concrete; 5. Bitumen

According to the results of the comparison, when choosing a covering material for open watercourses, we found that the service life of Geomembrane is longer than other types of covering, but the high project and construction costs reduce its economic efficiency. The importance of preparation was determined.

**Conclusion.** Through the conducted research, it was found that the filtration index increases as the water consumption increases in open basins. The fact that water loss due to filtration can be reduced by improving the physical and technical properties of the local soil in the open riverchanel and by covering the bottom and side walls of the open riverchanel with anti-filtration coatings was studied through hydraulic calculations. Calculations have shown that coatings reduce water loss, improve water quality, and increase irrigation efficiency and service life. Taking into account that the coatings are made of different materials, we determined and compared their

hydraulic efficiency. Covering open watercourses with coatings requires a number of additional costs from a technical and economic point of view, therefore it is advisable to choose a coating with the least water loss and the longest service life. Also, coatings can be different and their selection is made taking into account various factors, including potential benefits, technical economic costs and environmental impact. According to the results of the study, it was necessary to consider new structural, technical and technological solutions for the design and construction of pavements. The use of such solutions increases the hydraulic efficiency of anti-filtration coatings, ensures waterproofing, increases reliability and makes it possible to use local raw materials.

We recommend the use of geomembrane coatings based on local raw materials in order to reduce the economic costs related to the design and construction of the compared coatings, and to increase the hydraulic efficiency.

#### References:

1. Underground hydraulics. N.N. Makhmudov, M.A. Tursunov, S.S. Eshev, Kh.B. Asadova -T.: "Science and technology", 2015, 256 pages. (pp. 10-42).
2. Abdrazakov F.K., & Rukavishnikov A.A. (2019). Isklyuchenie neproizvoditelnykh poter vodnykh resursov iz orositel'noy seti za schet ispolzovaniya innovatsionnykh oblitsovochnykh materialov. Agricultural scientific journal, (10), 91-94. (c. 91-93).
3. Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A., Mikheeva O.V., & Mirkina E.N. (2023). Filtration in canals with underground channels and new methods of krepleniya otkosov. Agricultural scientific journal, (6), 107-114. (c. 107-113).
4. Chugaev R.R. Hydraulics. L.: Energoizdat, 1982. 672 p.
5. Kosichenko Yu.M., & Baev O.A. (2020). Hydraulic efficiency of orositel'nykh canalov pri ekspulatsii. Vestnik mGsU, 15(8), 1147-1162. (c. 1148-1160).

6. Bandurin M.A., Yurchenko I.F., Volosukhin V.A., Vanzha V.V., & Mikheyev A.V. (2018, December). The efficiency of impervious protection of hydraulic structures of irrigation systems. In International scientific and practical conference "Agro-SMART-Smart solutions for agriculture"(Agro-SMART 2018) (pp. 56-61). Atlantis Press. (pp. 57-60).
7. Baklanova D.V. (2016). Raschet filtratsii cherez zemlyanye damby na pronitsaemom osnovanii. Reclamation and Hydrotechnics, (1 (21)), 196-208. (с. 2-6).
8. Kozlov K.D., Gurev A.P., & Khanov N.V. (2014). Hydravlicheskie issledovaniya pokrytiya iz geokompozitnogo materiala. Prirodoobustroystvo, (5), 80-86. (с.81-82).
9. Barkhordari S., & Shahdany S.M. H. (2022). A systematic approach for estimating water losses in irrigation canals. Water Science and Engineering, 15(2), 161-169. (page 166-168).
10. Baev O.A., & Talalaeva V.F. (2022). Constructive-technological solutions for the creation and restoration of the construction of the canal. Reclamation and Hydrotechnics, 12(2), 177-191. (с. 5-9).
11. Baev O.A. (2022). Raschety ustanivsheysya svobodnoy filtratsii iz neoblitsovannyx kanalov. Reclamation and Hydrotechnics, 12(3), 227-243. (с. 6-16).
12. B.B. Shumakov, academician VASHNIL; A.I. Golovanov, doctor of technical sciences; Yu.N. Nukolsky, doctor of technical science; I.S. Averyanova, engineer. (p. 23-24).

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

Научный журнал

**UNIVERSUM:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

№ 10(115)  
Октябрь 2023

Часть 6

Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 – 54434 от 17.06.2013

Издательство «МЦНО»  
123098, г. Москва, улица Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74  
E-mail: [mail@7universum.com](mailto:mail@7universum.com)  
[www.7universum.com](http://www.7universum.com)

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 1  
16+