

УДК 519.95

DOI 10.54758/16801245\_2023\_23\_4\_

## ОРТОГОНАЛИЗАЦИЯ ВХОДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДВОИЧНОЙ 4D - НЕЛИНЕЙНОЙ МОДУЛЯРНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В КЛЕТОЧНОЙ ОБЛАСТИ

<sup>1</sup>ФЕЙЗИЕВ ФИКРАТ ГЮЛЬАЛИ оглу [ORCID](#)<sup>2</sup>АБАЕВА НИГЯР БАХРАМ гызы

Сумгаитский государственный университет, 1-профессор, 2-диссертант

[FeyziyevFG@mail.ru](mailto:FeyziyevFG@mail.ru), [abayevanigar@gmail.com](mailto:abayevanigar@gmail.com)

**Ключевые слова:** двоичные 4D – нелинейные модулярные динамические системы, ортогональные входные последовательности, условия ортогональности, алгоритм ортогонализации входных последовательностей в клеточном пространстве.

Рассматривается двоичная 4D – нелинейная модулярная динамическая система, заданная в виде двухзначного аналога полинома Вольтерры. Предлагается алгоритм для ортогонализации входных последовательностей двоичных 4D – нелинейных модулярных динамических систем в клеточной области, т.е. по клеточным аргументам. Предлагаемый алгоритм является одним из подалгоритмов алгоритма построения ортогональных входных последовательностей для двоичных 4D – нелинейных модулярных динамических систем.

Модулярные динамические системы (МДС) [1-5] являются одним из важных классов дискретных управляющих динамических систем. Они широко применяются в различных областях [1,2,4,5]. Исследованы различные фундаментальные и прикладные задачи для одно- и многопараметрических МДС, также одномерных и многомерных МДС [1-7]. Одной из задач для двоичных МДС является задача синтеза [4-7], для решения которой используется метод, основанный на привлечении ортогональных входных последовательностей МДС [4-7]. Следовательно, предварительно необходимо построение соответствующих ортогональных входных последовательностей. Алгоритм построения ортогональных входных последовательностей основывается на соответствующем условии ортогональности. К настоящему времени найдены условия ортогональности входных последовательностей для одно-, двух- и трех- параметрических двоичных нелинейных МДС (НМДС, 2D – НМДС, 3D – НМДС) и разработаны алгоритмы для построения соответствующих входных последовательностей. Одним из классов многопараметрических НМДС есть 4D-НМДС [8], который имеет более общую структуру чем  $nD$ -НМДС,  $n \in \{1,2,3\}$ . В работах [9,10] найдены решения задачи синтеза и условия ортогональности входных последовательностей 4D-НМДС. Однако алгоритм построения ортогональных входных последовательностей не рассмотрен. Ортогональные входные последовательности строятся с помощью алгоритма ортогонализации в клеточной области и алгоритма ортогонализации во временной области. В данной работе рассматривается построение алгоритма ортогонализации в клеточной области, т.е. по клеточным аргументам.

**1. Постановка задачи.** Двоичная 4D– НМДС с фиксированной памятью  $n_0$ , ограниченной связью  $P = P_1 \times P_2 \times P_3$ , степенью  $S$ , описывается в виде следующего двухзначного аналога полинома Вольтерры [9,10]:

$$y[n, c_1, c_2, c_3] = \sum_{i=1}^S \sum_{\nu=1}^{\lambda_i} \sum_{(\bar{j}, \bar{\sigma}, \bar{\rho}) \in L_{i,\nu}} \sum_{\bar{\tau} \in \Gamma_{i,\nu}} h_{i,\nu}[\bar{j}, \bar{\sigma}, \bar{\rho}, \bar{\tau}] \times$$

$$\times \prod_{(\alpha, \beta, \gamma) \in Q_{i,\nu}} \prod_{\xi_{\alpha, \beta, \gamma}=1}^{m_{\alpha, \beta, \gamma}} v_{i,\nu}[n - \tau(\alpha, \beta, \gamma, \xi_{\alpha, \beta, \gamma}), c_1 + p_1(j_\alpha), c_2 + p_2(\sigma_\beta), c_3 + p_3(\rho_\gamma)], GF(2).$$

Здесь  $n \in \{0, 1, 2, \dots\}$ ,  $c_\alpha \in [0, C_\alpha] \equiv \{0, 1, \dots, C_\alpha\}$ ,  $\alpha = \overline{1, 3}$ ;  $y[n, c_1, c_2, c_3]$  – выходная последовательность, а  $v_{i,\nu}[n, c_1, c_2, c_3]$ ,  $\nu = 1, \dots, \lambda_i$ ,  $i = 1, \dots, S$  – входные последовательности над полем  $GF(2)$ ;

$P_\alpha = \{p_\alpha(1), \dots, p_\alpha(r_\alpha)\}$ ,  $-\infty < p_\alpha(1) < \dots < p_\alpha(r_\alpha) < \infty$ ,  $p_\alpha(j) \in \{\dots, -1, 0, 1, \dots\}$ ,  $j = \overline{1, r_\alpha}$ ,  $\alpha = \overline{1, 3}$ ;  
 $\lambda_i = |F(i)|$  (через  $|F(i)|$  обозначено число элементов множества  $F(i)$ ), где

$$F(i) = \{(\ell_1, \ell_2, \ell_3, \bar{m}) \mid \bar{m} = (m_{1,1,1}, \dots, m_{1,1,\ell_3}, m_{1,2,1}, \dots, m_{1,2,\ell_3}, \dots, m_{1,\ell_2,1}, \dots, m_{1,\ell_2,\ell_3}),$$

$$\sum_{\alpha=1}^{\ell_1} \sum_{\beta=1}^{\ell_2} \sum_{\gamma=1}^{\ell_3} m_{\alpha, \beta, \gamma} = i; \quad m_{\alpha, \beta, \gamma} \in \{0, \dots, n_0 + 1\}, \quad \alpha = \overline{1, \ell_1}, \beta = \overline{1, \ell_2}, \gamma = \overline{1, \ell_3};$$

$$(\forall \alpha \in \{1, \dots, \ell_1\})(\exists \beta \in \{1, \dots, \ell_2\})(\exists \gamma \in \{1, \dots, \ell_3\}) \Rightarrow (m_{\alpha, \beta, \gamma} \neq 0),$$

$$(\forall \beta \in \{1, \dots, \ell_2\})(\exists \alpha \in \{1, \dots, \ell_1\})(\exists \gamma \in \{1, \dots, \ell_3\}) \Rightarrow (m_{\alpha, \beta, \gamma} \neq 0),$$

$$(\forall \gamma \in \{1, \dots, \ell_3\})(\exists \alpha \in \{1, \dots, \ell_1\})(\exists \beta \in \{1, \dots, \ell_2\}) \Rightarrow (m_{\alpha, \beta, \gamma} \neq 0); \quad \ell_\sigma \in \{1, \dots, r_\sigma\}, \sigma = \overline{1, 3}\};$$

$$L(\ell) = L_1(\ell_1) \times L_2(\ell_2) \times L_3(\ell_3),$$

где

$$L_1(\ell_1) = \{\bar{j} = (j_1, \dots, j_{\ell_1}) \mid 1 \leq j_1 < \dots, j_{\ell_1} \leq r_1\}, \quad L_2(\ell_2) = \{\bar{\sigma} = (\sigma_1, \dots, \sigma_{\ell_2}) \mid 1 \leq \sigma_1 < \dots, \sigma_{\ell_2} \leq r_2\},$$

$$L_3(\ell_3) = \{\bar{\rho} = (\rho_1, \dots, \rho_{\ell_3}) \mid 1 \leq \rho_1 < \dots < \rho_{\ell_3} \leq r_3\};$$

$$(\ell_1, \ell_2, \ell_3, \bar{m})_\nu \text{ есть } \nu\text{-й элемент множества } F(i);$$

$$h_{i,\nu}[\bar{j}, \bar{\sigma}, \bar{\rho}, \bar{\tau}] \equiv h_{i,(\ell_1, \ell_2, \ell_3, \bar{m})_\nu}[\bar{j}, \bar{\sigma}, \bar{\rho}, \bar{\tau}], \quad Q_{i,\nu} \equiv Q_0(i, (\ell_1, \ell_2, \ell_3, \bar{m})_\nu), \quad \Gamma_{i,\nu} \equiv \Gamma(\ell_1, \ell_2, \ell_3, \bar{m})_\nu,$$

$$L_{i,\nu} \equiv L((\ell_1, \ell_2, \ell_3)_\nu),$$

где

$$\Gamma(\ell_1, \ell_2, \ell_3, \bar{m}) = \prod_{(\alpha, \beta, \gamma) \in Q_0(i, (\ell_1, \ell_2, \ell_3, \bar{m}))} \Gamma_1(m_{\alpha, \beta, \gamma})$$

$$\Gamma_1(m_{\alpha, \beta, \gamma}) = \{\bar{\tau}_{\alpha, \beta, \gamma} = (\tau(\alpha, \beta, \gamma, 1), \dots, \tau(\alpha, \beta, \gamma, m_{\alpha, \beta, \gamma})) \mid 0 \leq \tau(\alpha, \beta, \gamma, 1) < \dots < \tau(\alpha, \beta, \gamma, m_{\alpha, \beta, \gamma}) \leq n_0\};$$

$$Q_0(i, \ell_1, \ell_2, \ell_3, \bar{m}) = \{(\alpha, \beta, \gamma) \mid m_{\alpha, \beta, \gamma} \neq 0, \alpha = \overline{1, \ell_1}, \beta = \overline{1, \ell_2}, \gamma = \overline{1, \ell_3}\}.$$

В работе [10] вводится понятие ортогональной входной последовательности для 4D-НМДС (1). Необходимое и достаточное условие ортогональности входных последовательностей двоичных 4D-НМДС доказывается в теореме 1 [10]. В теореме 2 доказывается необходимое и достаточное условие собственной ортогональности входной последовательности, а в теореме 3 приводятся три достаточных условия, которые вместе обеспечивают ортогональность входной последовательности. Причем в теореме 3 [10] первое условие есть условие независимости каждой ортогональной последовательности, второе условие есть условие разделения области определения каждой ортогональной последовательности, а третьей условие есть условие периодичности каждой ортогональной последовательности. В работе [10] на основе первого условия теореме 3 получаются короткие вспомогательные ортогональные последовательности  $\bar{v}_{i,\nu}[n, c_1, c_2, c_3]$ ,  $\nu = \overline{1, \lambda_i}$ , а в теореме 5 доказано достаточное условие об ортогональности коротких вспомогательных последовательностей.

Для каждой  $(i, \nu)$ ,  $\nu = \overline{1, \lambda_i}$ ,  $i = \overline{1, S}$ , короткие ортогональные вспомогательные последовательности  $\bar{v}_{i,\nu}[n, c_1, c_2, c_3]$  формируются в два этапа. Первый этап называется ортогонализацией в клеточной области, а второй этап – ортогонализация во временной области.

Постановка задачи следующая: Для каждой пары  $(i, \nu)$ ,  $\nu = \overline{1, \lambda_i}$ ,  $i = \overline{1, S}$ , построить алгоритм ортогонализации в клеточной области.

**2. Алгоритм ортогонализация в клеточной области.** В алгоритме ортогонализации в клеточной области для каждой пары  $(i, \nu)$ ,  $\nu = \overline{1, \lambda_i}$ ,  $i = \overline{1, S}$ , в соответствии с 1-ым пунктом теоремы 5 [10], строится алгоритм ортогонализации в клеточной области.

**Определение 1.** Пусть для фиксированной пары  $(i, \nu)$  удовлетворяется первое условие теореме 5 и ее пункты а), б), в), г) (см. [10]). В результате этого получается подмножество трехмерной клеточной области  $[0, C_1(i, \nu)] \times [0, C_2(i, \nu)] \times [0, C_3(i, \nu)]$ . Эта область называется областью определения коротких ортогональных вспомогательных входных последовательностей двоичных 4D-НМДС по клеточным аргументам.

Через  $\theta(i, \nu)$  обозначим количество ненулевых компонентов вектора  $(\theta(i, \nu) = |Q_{i,\nu}|)$

$$\bar{m}_{i,\nu} = (m_{1,1,1}, \dots, m_{1,1,\ell_3}, m_{1,2,1}, \dots, m_{1,2,\ell_3}, \dots, m_{1,\ell_2,1}, \dots, m_{1,\ell_2,\ell_3}). \quad (2)$$

А через  $1, 2, \dots, \theta(i, \nu)$  обозначим ненулевые компоненты вектора  $\bar{m}_{i,\nu}$ . Пусть последовательность ненулевых компонентов вектора  $\bar{m}_{i,\nu}$  есть следующая последовательность  $m_{\alpha, \xi_{\alpha, \beta}, \eta(\alpha, \xi_{\alpha, \beta}, \gamma)}$ ,  $\alpha = 1, \dots, \ell_1$ ,  $\beta = 1, \dots, \xi_{\alpha, \varphi(\alpha)}$ ,  $\gamma = 1, \dots, \pi(\alpha, \xi_{\alpha, \varphi(\alpha)})$ . Для  $\forall \alpha \in \{1, \dots, \ell_1\}$  считается, что  $\varphi(\alpha) \leq \ell_2$  и  $1 \leq \xi_{\alpha, 1} < \dots < \xi_{\alpha, \varphi(\alpha)} \leq \ell_2$ . Также для  $\forall \alpha \in \{1, \dots, \ell_1\}$  и  $\beta \in \{\xi_{\alpha, 1}, \dots, \xi_{\alpha, \varphi(\alpha)}\}$  считается, что  $\pi(\alpha, \beta) \leq \ell_3$  и  $1 \leq \eta(\alpha, \beta, 1) < \dots < \eta(\alpha, \beta, \pi(\alpha, \beta)) \leq \ell_3$ . Ясно, что

$$\sum_{\alpha=1}^{\ell_1} \sum_{\beta}^{\varphi(\alpha)} \eta(\alpha, \beta, \pi(\alpha, \beta)) = \theta(i, \nu).$$

Для построения алгоритма ортогонализации в клеточной области введем некоторые массивы и множества. Пусть

$$\Phi(i) = \{\bar{m} = (m_{1,1,1}, \dots, m_{1,1,r_3}, m_{1,2,1}, \dots, m_{1,2,r_3}, \dots, m_{1,r_2,1}, \dots, m_{1,r_2,r_3}) \mid \sum_{\alpha=1}^{r_1} \sum_{\beta=1}^{r_2} \sum_{\gamma=1}^{r_3} m_{\alpha, \beta, \gamma} = i, \quad (3)$$

$$m_{\alpha, \beta, \gamma} \in \{0, \dots, n_0 + 1\}, \alpha = \overline{1, r_1}, \beta = \overline{1, r_2}, \gamma = \overline{1, r_3}\}.$$

Рассмотрим какой-нибудь  $A(\bar{m}) = \{m_{\alpha, \beta, \gamma} \mid \alpha = \overline{1, r_1}, \beta = \overline{1, r_2}, \gamma = \overline{1, r_3}\} \in \Phi(i)$ . Это множество представляет собой трехмерный массив размерностью  $r_1 \times r_2 \times r_3$ . Рассмотрим представление множество  $A(\bar{m})$  в трехмерном дискретном пространстве. Пусть в трехмерном дискретном пространстве выбрана прямоугольная система координат, индексы  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  сопоставлены клеточным аргументам  $c_1$ ,  $c_2$  и  $c_3$  и ось абсцисс, ординат и аппликата суть  $0S^1$ ,  $0S^2$ , и  $0S^3$ , соответственно. Пусть точка с координатами  $(\alpha, \beta, \gamma)$ ,  $\alpha = \overline{1, r_1}$ ,  $\beta = \overline{1, r_2}$ ,  $\gamma = \overline{1, r_3}$  есть  $m_{\alpha, \beta, \gamma}$ . Все эти точки суть геометрическое представление массива  $A(\bar{m}) \in \Phi(i)$  в трехмерном дискретном пространстве. По формуле (3)  $m_{\alpha, \beta, \gamma} = 0$  или  $m_{\alpha, \beta, \gamma} \neq 0$ . Рассмотрим матрицы  $A_\alpha(\bar{m})$ ,  $A_\beta(\bar{m})$  и  $A_\gamma(\bar{m})$  размерностью соответственно  $r_2 \times r_3$ ,  $r_1 \times r_3$  и  $r_1 \times r_2$ , где

$$A_\alpha(\bar{m}) = (m_{\alpha, \beta, \gamma}), \beta = \overline{1, r_2}, \gamma = \overline{1, r_3}; \quad A_\beta(\bar{m}) = (m_{\alpha, \beta, \gamma}), \alpha = \overline{1, r_1}, \gamma = \overline{1, r_3};$$

$$A_\gamma(\bar{m}) = (m_{\alpha, \beta, \gamma}), \alpha = \overline{1, r_1}, \beta = \overline{1, r_2}.$$

Все элементы каждой матрицы  $A_\alpha(\bar{m})$ ,  $A_\beta(\bar{m})$  и  $A_\gamma(\bar{m})$  в отдельности образуют разные слои в массиве  $A(\bar{m})$ . Отметим, что слои  $A_\alpha(\bar{m})$ ,  $A_\beta(\bar{m})$  и  $A_\gamma(\bar{m})$  параллельны плоскостям  $S^2 0S^3$ ,

$S^1OS^3$  и  $S^1OS^2$  соответственно. Если в каком-то слое все точки нулевые, то этот слой назовем нулевым слоем. Ясно, что в зависимости от  $\bar{m} \in \Phi(i)$  для некоторых  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  некоторые из соответствующих слоев  $A_\alpha(\bar{m})$ ,  $A_\beta(\bar{m})$  и  $A_\gamma(\bar{m})$  могут быть нулевыми.

Для каждой пары  $(i, \nu)$ , где  $\nu \in \{1, \dots, \lambda_i\}$  и  $i \in \{1, \dots, S\}$ , элементам множества  $F(i)$ , соответствует специальный  $\ell_1 \times \ell_2 \times \ell_3$ -мерных вектор  $\bar{m}$  (матриц или массив)  $B_{i,\nu} = (m_{\alpha,\beta,\gamma})$ ,  $\alpha = \overline{1, \ell_1}$ ,  $\beta = \overline{1, \ell_2}$ ,  $\gamma = \overline{1, \ell_3}$ . По формуле построения множества  $F(i)$ , в трехмерном дискретном представлении  $B_{i,\nu}$  не имеет нулевых слоев. После удаления всех нулевых слоев массива  $A(\bar{m}) \in \Phi(i)$ , можно получить массив из множество  $\{B_{i,\nu} = (m_{\alpha,\beta,\gamma}) | \nu \in \{1, \dots, \lambda_i\}\}$  и наоборот. Ясно, что размерность массива из  $\{B_{i,\nu} = (m_{\alpha,\beta,\gamma}) | \nu \in \{1, \dots, \lambda_i\}\}$  не превышает размерности массива  $A(\bar{m}) \in \Phi(i)$ . Ясно, что в  $B_{i,\nu} = (m_{\alpha,\beta,\gamma})$  и в векторе в формуле (2) количество элементов или компонентов совпадают и равно  $\theta(i, \nu)$ .

Для каждой тройки  $(\bar{j}, \bar{\sigma}, \bar{\rho}) \in L_1(\ell_1) \times L_2(\ell_2) \times L_3(\ell_3)$  определим расширение матрицы  $B_{i,\nu}$ . Это расширение обозначим через  $B_{i,\nu}(\bar{j}, \bar{\sigma}, \bar{\rho}) = (m'_{\mu,\varepsilon,\omega})$ ,  $\mu = \overline{1, r_1}$ ,  $\varepsilon = \overline{1, r_2}$ ,  $\omega = \overline{1, r_3}$ , где для каждой тройки  $(\mu, \varepsilon, \omega) \in \{1, \dots, r_1\} \times \{1, \dots, r_2\} \times \{1, \dots, r_3\}$

$$m'_{\mu,\varepsilon,\omega} = \begin{cases} 0, & \text{если } (\mu, \varepsilon, \omega) \notin \{j_1, \dots, j_{\ell_1}\} \times \{\sigma_1, \dots, \sigma_{\ell_2}\} \times \{\rho_1, \dots, \rho_{\ell_3}\}, \\ m_{\alpha,\beta,\gamma}, & \text{если } (\mu, \varepsilon, \omega) \in \{j_1, \dots, j_{\ell_1}\} \times \{\sigma_1, \dots, \sigma_{\ell_2}\} \times \{\rho_1, \dots, \rho_{\ell_3}\}, \end{cases}$$

а числа  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  таковы, что удовлетворяются  $\mu = j_\alpha$ ,  $\varepsilon = \sigma_\beta$  и  $\omega = \rho_\gamma$ . Введем обозначения

$$\Omega_{i,\nu} = \{B_{i,\nu}(\bar{j}, \bar{\sigma}, \bar{\rho}) | (\bar{j}, \bar{\sigma}, \bar{\rho}) \in L_1(\ell_1) \times L_2(\ell_2) \times L_3(\ell_3)\}.$$

Из элементов множества  $\Omega_{i,\nu}$  образуем множество  $G(i, \nu)$ .

Поставим против каждого  $j$ -ой матрицы из  $G(i, \nu)$  множество  $P(j)$ , где  $P(j) = P_1 \times P_2 \times P_3 = \{p_1(1), \dots, p_1(r_1)\} \times \{p_2(1), \dots, p_2(r_2)\} \times \{p_3(1), \dots, p_3(r_3)\}$  и предположим, что каждая  $(p_1(\alpha), p_2(\beta), p_3(\gamma))$  соответствует числу  $m_{\alpha,\beta,\gamma}(j)$ , где  $m_{\alpha,\beta,\gamma}(j)$  есть элементы  $j$ -ой матрицы из  $G(i, \nu_1)$ .

Введем множество  $\bar{M} = \{1, 2, \dots, |G(i, \nu)|\}$ . Выберем пустые массивы:  $E$ ,  $M_1, \dots, M_{\theta(i, \nu)}$ , и  $M_1^*, \dots, M_{\theta(i, \nu)}^*$ . Эти массивы заполняются в ходе выполнения алгоритма. В массиве  $E$  записываются номера клеток, соответствующие нулевым значениям  $m_{\alpha,\beta,\gamma}(j)$ . В массив  $M_k$  и  $M_k^*$  записываются  $k$ -ые ненулевые значения компонентов вектора  $\bar{m}_{i,k}$  ( $k = 1, \dots, \theta(i, \nu)$ ). Пусть

$$F = \bigcup_{k=1}^{\theta(i, \nu)} M_k, \quad F^* = \bigcup_{k=1}^{\theta(i, \nu)} [M_k \cup M_k^*].$$

Для формирования последовательности  $\bar{v}_{i,\alpha}[n, c_1, c_2, c_3]$

определяются номера клетки по следующему алгоритму, которой называется алгоритмом ортогонализации в клеточной области:

**Шаг 0.**  $c_1 = 0$ ,  $c_2 = 0$ ,  $c_3 = 0$ .

**Шаг 1.** Найдем такое  $j \in \bar{M}$ , в котором для всех  $(p_1, p_2, p_3) \in P_1 \times P_2 \times P_3$  с ненулевыми нелинейностями выполняются соотношения  $c_1 + p_1 \in [0, \hat{c}_1]$ ,  $c_2 + p_2 \in [0, \hat{c}_2]$ ,  $c_3 + p_3 \in [0, \hat{c}_3]$ . Если такое  $j$  не найдено, то переходим к шагу 3, иначе к шагу 2.

**Шаг 2.** Примем  $a_\sigma = \max\{c_\sigma + p_\sigma(r_\sigma), c_\sigma\}$ ,  $b_\sigma = c_\sigma$ ,  $\sigma = \overline{1, 3}$  и переходим к шагу 4.

**Шаг 3.** Находим такие минимальные  $h_1, h_2, h_3 \in \{0, 1, \dots\}$ ,  $h_1 + h_2 + h_3 \geq 1$ , при которых найдется такое  $j \in \bar{M}$  в результате чего для всех  $(p_1, p_2, p_3) \in P_1 \times P_2 \times P_3$  ненулевыми

нелинейностями выполняются соотношения  $c_1 + h_1 + p_1 \in [0, \hat{C}_1]$  ,  $c_2 + h_2 + p_2 \in [0, \hat{C}_2]$  ,  $c_3 + h_3 + p_3 \in [0, \hat{C}_3]$ . Примем  $c_1 = c_1 + h_1$ ,  $c_2 = c_2 + h_2$ ,  $c_3 = c_3 + h_3$  и переходим к шагу 2.

**Шаг 4.** Для каждой  $(\alpha, \beta, \gamma) \in \{1, \dots, r_1\} \times \{1, \dots, r_2\} \times \{1, \dots, r_3\}$  выполним следующее: проверим

$m_{\alpha, \beta, \gamma}$ . Если  $m_{\alpha, \beta, \gamma} = 0$ , то клетка  $(c_1 + p_1(\alpha), c_2 + p_2(\beta), c_3 + p_3(\gamma))$  записывается в массив  $E$ . А если  $m_{\alpha, \beta, \gamma} \neq 0$ , то для каждого  $\alpha = 1, \dots, \ell_1$ ,  $\beta = 1, \dots, \xi_{\alpha, \varphi(\alpha)}$ ,  $\gamma = 1, \dots, \pi(\alpha, \xi_{\alpha, \varphi(\alpha)})$ , клетка  $(c_1 + p_1(\alpha), c_2 + p_2(\beta), c_3 + p_3(\gamma))$  записывается в массив  $M_k$ , где  $k$  есть номер элемента  $m_{\alpha, \beta, \gamma}$  среди ненулевых элементов  $\bar{m}_{i, \nu}$ . Удалим  $j$  из  $\bar{M}$  и переходим к шагу 5.

**Шаг 5.** Находим такие максимальные  $h_1, h_2, h_3 \in \{0, 1, \dots\}$ , при которых удовлетворяется соотношение

$$|\{(c_1 + h_1 + p_1, c_2 + h_2 + p_2, c_3 + h_3 + p_3) | p_1 \in P_1, p_2 \in P_2, p_3 \in P_3\} \cap F| = \theta(i, \nu).$$

Если  $h_1 = 0, h_2 = 0, h_3 = 0$ , то переходим к шагу 7, иначе переходим к шагу 6.

**Шаг 6.** Последовательно для всех  $h'_1 = 0, \dots, h_1$ ,  $h'_2 = 0, \dots, h_2$  и  $h'_3 = 0, \dots, h_3$  выполняем следующее: для каждой тройки  $(\alpha, \beta, \gamma) \in \{1, \dots, r_1\} \times \{1, \dots, r_2\} \times \{1, \dots, r_3\}$  проверим принадлежность клетки  $(c_1 + h'_1 + p_1(\alpha), c_2 + h'_2 + p_2(\beta), c_3 + h'_3 + p_3(\beta))$  множеству  $F$ . В случае не принадлежности этой клетки множеству  $F$  записываем ее в массив  $E$ . Примем  $c_1 = c_1 + h_1$ ,  $c_2 = c_2 + h_2$ ,  $c_3 = c_3 + h_3$  и переходим к шагу 7.

**Шаг 7.** Если множество  $\bar{M}$  пустое, то переходим к шагу 13, иначе – к шагу 8.

**Шаг 8.** Примем  $c_1^0 = c_1$ ,  $c_2^0 = c_2$ ,  $c_3^0 = c_3$ ,  $\Omega(c_1^0, c_2^0, c_3^0) = \emptyset$  и  $h = 1$ .

**Шаг 9.** Примем  $h_1 = h$ ,  $h_2 = 0$ ,  $h_3 = 0$ .

**Шаг 10.** Ищем такое  $j \in \bar{M}$ , при котором для всех  $(\alpha, \beta, \gamma) \in \{1, \dots, r_1\} \times \{1, \dots, r_2\} \times \{1, \dots, r_3\}$  удовлетворяется соотношения

$$(c_1 + p_1(\alpha) + h_1, c_2 + p_2(\beta) + h_2, c_3 + p_3(\beta) + h_3) \notin \begin{cases} (F \setminus M_k) \cup E, & m_{\alpha, \beta, \gamma} \neq 0, \\ F & , \quad m_{\alpha, \beta, \gamma} = 0. \end{cases}$$

Если  $j$  найдено, то переходим к шагу 12, иначе переходим к шагу 11.

**Шаг 11.** Добавим  $(c_1 + h_1, c_2 + h_2, c_3 + h_3)$  в  $\Omega(c_1^0, c_2^0, c_3^0)$ . Примем  $h_3 := h_3 + 1$ . Если  $h_3 \leq h$ , то переходим к шагу 10, иначе примем  $h_2 := h_2 + 1$ . Если  $h_2 \leq h$ , то переходим к шагу 10, иначе примем  $h_1 := h_1 + 1$ . Если  $h_1 \leq h$ , то переходим к шагу 10, иначе примем  $h := h + 1$  и переходим к шагу 9.

**Шаг 12.** Примем:  $c'_1 = c_1 + h_1$ ,  $c'_2 = c_2 + h_2$ ,  $c'_3 = c_3 + h_3$  и  $M_\omega^* = \emptyset$ ,  $\omega = 1, \dots, \theta(i, \nu)$ . Для каждой тройки  $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1) \in \{1, \dots, r_1\} \times \{1, \dots, r_2\} \times \{1, \dots, r_3\}$  проверим  $m_{\alpha_1, \beta_1, \gamma_1}$  и клетку  $(c'_1 + p_1(\alpha_1), c'_2 + p_2(\beta_1), c'_3 + p_3(\gamma_1))$ . При  $m_{\alpha_1, \beta_1, \gamma_1} \neq 0$  и

$$(c'_1 + p_1(\alpha_1), c'_2 + p_2(\beta_1), c'_3 + p_3(\gamma_1)) \in (\{c'_1 + P_1, c'_2 + P_2, c'_3 + P_3\} \setminus (F \cup E))$$

добавим клетку  $(c'_1 + p_1(\alpha_1), c'_2 + p_2(\beta_1), c'_3 + p_3(\gamma_1))$  в массив  $M_k^*$ , где  $k$  есть номера элемента  $m_{\alpha_1, \beta_1, \gamma_1}$  среди ненулевых элементов  $\bar{m}_{i, \nu}$ . Затем для всех  $(c'_1, c'_2, c'_3) \in \Omega(c_1^0, c_2^0, c_3^0)$  находим

$$s_1(c'_1, c'_2, c'_3) = \sum_{\alpha=1}^{r_1} \sum_{\beta=1}^{r_2} \sum_{\gamma=1}^{r_3} \delta[c'_1 + p_1(\alpha), c'_2 + p_2(\beta), c'_3 + p_3(\gamma)], (p_1(\alpha), p_2(\beta), p_3(\gamma)) \in P,$$

где

$$\delta[c'_1 + p_1(\alpha), c'_2 + p_2(\beta), c'_3 + p_3(\gamma)] = \begin{cases} 0 & , \quad (c'_1 + p_1(\alpha), c'_2 + p_2(\beta), c'_3 + p_3(\gamma)) \notin F^*, \\ m_{\xi_1, \xi_2, \xi_3} & , \quad (c'_1 + p_1(\alpha), c'_2 + p_2(\beta), c'_3 + p_3(\gamma)) \in F^*, \end{cases}$$

а  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  и  $\xi_3$  - таковы что  $(c'_1 + p_1(\alpha), c'_2 + p_2(\beta), c'_3 + p_3(\gamma)) \in M_\xi \cup M_\xi^*$ . Здесь  $\xi$  есть номер элемента  $m_{\xi_1, \xi_2, \xi_3}$  среди соответствующих ненулевых элементов. Если для всех  $(c'_1, c'_2, c'_3) \in \Omega(c_1^0, c_2^0, c_3^0)$  удовлетворяются соотношения  $s_1(c'_1, c'_2, c'_3) < i$ , то примем  $c_1 := c_1 + h_1$ ,  $c_2 := c_2 + h_2$ ,  $c_3 := c_3 + h_3$  и переходим к шагу 4, иначе примем  $c_1 := c_1 + h_1$ ,  $c_2 := c_2 + h_2$ ,  $c_3 := c_3 + h_3$  и переходим к шагу 8.

**Шаг 13.** Находим такие минимальные  $h_1$ ,  $h_2$  и  $h_3$ , удовлетворяющие неравенствам  $0 \leq h_1 \leq c_1 - 1 + p_1(r_1)$ ,  $0 \leq h_2 \leq c_2 - 1 + p_2(r_2)$  и  $0 \leq h_3 \leq c_3 - 1 + p_3(r_3)$  соответственно, при которых все клетки вида  $(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ , не входящие в массив  $E$  удовлетворяют условию  $0 \leq \xi_1 \leq h_1$ ,  $0 \leq \xi_2 \leq h_2$  и  $0 \leq \xi_3 \leq h_3$ . Примем:  $c_\sigma^* = \max\{h_\sigma, c_\sigma - 1\}$ ,  $Z_\sigma = c_\sigma - 1$ ,  $\sigma = \overline{1, 3}$ . Если  $\sum_{\alpha=1}^{r_1} \sum_{\beta=1}^{r_2} \sum_{\gamma=1}^{r_3} m_{\alpha, \beta, \gamma} = (n_0 + 1)r_1 r_2 r_3$ , то примем  $D_\sigma = c_\sigma - 1 + p_\sigma(r_\sigma)$ ,  $\sigma = \overline{1, 3}$  и переходим к шагу 18, иначе находим такие  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$ , при которых все клетки из множества  $\{(\xi_1, \xi_2, \xi_3) | 0 \leq \xi_1 \leq \sigma_1, 0 \leq \xi_2 \leq \sigma_2, 0 \leq \xi_3 \leq \sigma_3\}$  входят в массив  $E$ . При отсутствии таких  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  примем  $\sigma_1 = -1$ ,  $\sigma_2 = -1$ ,  $\sigma_3 = -1$ . Так же примем:

$$D_\beta = \begin{cases} h_\beta & , \quad \text{если } c_\beta + p_\beta(r_\beta) - (\sigma_\beta + 1) \leq h_\beta + 1, \\ c_\beta + p_\beta(r_\beta) - (\sigma_\beta + 1) - 1, & \text{если } c_\beta + p_\beta(r_\beta) - (\sigma_\beta + 1) > h_\beta + 1, \end{cases} \quad \beta = \overline{1, 3}.$$

**Шаг 14.**  $h = 1$ .

**Шаг 15.**  $h_1 = h$ ,  $h_2 = 0$ ,  $h_3 = 0$ .

**Шаг 16.** Примем:  $M_\beta^* = \emptyset$ ,  $\beta = \overline{1, \theta(i, \nu)}$ . Для всех

$$(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) \in \{0, \dots, a_1\} \times \{0, \dots, a_2\} \times \{0, \dots, a_3\}$$

выполним следующие операции: находим такие  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  и  $\mu_3$ , при которых клетка  $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$  входит в массив  $M_k$ . При наличии таких  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  и  $\mu_3$  записываем клетки  $(D_1 + 1 + h_1 + \sigma_1, D_2 + 1 + h_2 + \sigma_2, D_3 + 1 + h_3 + \sigma_3)$  в массив  $M_k^*$ . Для всех  $c_\beta^0 \in [c_\beta, D_\beta + 1 + h_\beta + (b_\beta - 1)]$ ,  $\beta = \overline{1, 3}$ , находим

$$s_1(c_1^0, c_2^0, c_3^0) = \sum_{\alpha=1}^{r_1} \sum_{\beta=1}^{r_2} \sum_{\gamma=1}^{r_3} \delta(c_1^0 + p_1(\alpha), c_2^0 + p_2(\beta), c_3^0 + p_3(\gamma)), \quad (p_1(\alpha), p_2(\beta), p_3(\gamma)) \in P,$$

где

$$\delta(c_1^0 + p_1(\alpha), c_2^0 + p_2(\beta), c_3^0 + p_3(\gamma)) = \begin{cases} 0 & , \quad \text{если } (c_1^0 + p_1(\alpha), c_2^0 + p_2(\beta), c_3^0 + p_3(\gamma)) \notin F^*, \\ m_{\xi_1, \xi_2, \xi_3} & , \quad \text{если } (c_1^0 + p_1(\alpha), c_2^0 + p_2(\beta), c_3^0 + p_3(\gamma)) \in F^*, \end{cases}$$

а  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  и  $\xi_3$  таковы, что  $(c_1^0 + p_1(\alpha), c_2^0 + p_2(\beta), c_3^0 + p_3(\gamma)) \in M_\xi \cup M_\xi^*$ .

Здесь  $\xi$  есть номера элемента  $m_{\xi_1, \xi_2, \xi_3}$  среди соответствующих ненулевых элементов. Если для  $(c_1^0, c_2^0, c_3^0) \in \Omega(c_1^0, c_2^0, c_3^0)$  выполняется  $s_1(c_1^0, c_2^0, c_3^0) > i$ , тогда переходим к шагу (17). Иначе сравниваем  $\theta(i, \nu)$  с

$$S_1 = \left| \bigcup_{\alpha=1}^{r_1} \bigcup_{\beta=1}^{r_2} \bigcup_{\gamma=1}^{r_3} \{(D_1 + h_1 + b_1 + p_1(\alpha), D_2 + h_2 + b_2 + p_2(\beta), D_3 + h_3 + b_3 + p_3(\gamma))\} \cap F^* \right|.$$

Если  $S_1 < \theta(i, \nu)$ , то переходим к шагу 18. В противном случае определим  $d_{\alpha, \beta, \gamma}, \alpha = \overline{1, r_1}, \beta = \overline{1, r_2}, \gamma = \overline{1, r_3}$  следующим образом:

$$d_{\alpha, \beta, \gamma} = \begin{cases} 0, & (D_1 + 1 + h_1 + b_1 + p_1(\alpha), D_2 + 1 + h_2 + b_2 + p_2(\beta), D_3 + 1 + h_3 + b_3 + p_3(\gamma)) \notin F^*, \\ m_{\xi_1, \xi_2, \xi_3}, & (D_1 + 1 + h_1 + b_1 + p_1(\alpha), D_2 + 1 + h_2 + b_2 + p_2(\beta), D_3 + 1 + h_3 + b_3 + p_3(\gamma)) \in F^*, \end{cases}$$

а  $\xi_1, \xi_2$  и  $\xi_3$  таковы, что

$$(D_1 + 1 + h_1 + b_1 + p_1(\alpha), D_2 + 1 + h_2 + b_2 + p_2(\beta), D_3 + 1 + h_3 + b_3 + p_3(\gamma)) \in M_\xi \cup M_\xi^*.$$

Здесь  $\xi$  есть номер элемента  $m_{\xi_1, \xi_2, \xi_3}$  среди соответствующих ненулевых элементов.

Пусть  $A = (d_{\alpha, \beta, \gamma}), \alpha = \overline{1, r_1}, \beta = \overline{1, r_2}, \gamma = \overline{1, r_3}$ . Удаляя все нулевые слои из массива  $A$  образуем массив  $\bar{A}_1$ . Если массив  $B_{i, \nu}$  и массив  $\bar{A}_1$  совпадают, то примем  $D_\sigma = D_\sigma + h_\sigma$ ,  $\sigma = \overline{1, 3}$  и переходим к шагу 18, иначе переходим к шагу 17.

**Шаг 17.** Примем  $h_3 := h_3 + 1$ . Если  $h_3 \leq h$ , то переходим к шагу 16, иначе примем  $h_2 := h_2 + 1$ . Если  $h_2 \leq h$ , то переходим к шагу 16, иначе примем  $h_1 := h_1 + 1$ . Если  $h_1 \leq h$ , то переходим к шагу 16, иначе примем  $h := h + 1$  и переходим к шагу 19.

**Шаг 18.** Примем:  $C_\sigma(i, \nu) = c_\sigma^*, \bar{L}_\sigma(i, \nu) = Z_\sigma, A_\sigma(i, \nu) = D_\sigma, \sigma = \overline{1, 3}$ .

**Шаг 19.** Стоп.

**3. Заключение.** В работе разработан алгоритм построения ортогонализации входных последовательностей двоичных 4D – НМДС в клеточной области, т.е. строится область определения коротких ортогональных вспомогательных входных последовательностей 4D – НМДС по клеточным аргументам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гилл, А. Линейные последовательностные машины / А.Гилл. – М.: Наука, –1974. –288 с.
2. Фараджев, Р.Г. Линейные последовательностные машины / Р.Г.Фараджев. – М.: Сов.радио, –1975. –248 с.
3. Блюмин, С.Л. Линейные клеточные машины: Подход пространства состояний (обзор) / С.Л.Блюмин, Р.Г.Фараджев // Автоматика и телемеханика, –1982, №2, –С.125-163.
4. Фараджев, Р.Г. Методы и алгоритмы решения задачи квадратичной оптимизации для двоичных последовательностных машин / Р.Г.Фараджев, Ф.Г.Фейзиев. –Баку: Элм, –1996, –180 с.
5. Фейзиев, Ф.Г. Модулярные последовательностные машины: Основные результаты по теории и приложению / Ф.Г.Фейзиев, М.Р.Фараджева. –Баку: Элм, –2006, –234 с.
6. Байбатшаев, М.Ш. Об одной задаче квадратичной оптимизации двоичных нелинейных последовательностных машин / М.Ш.Байбатшаев, Ю.С.Попков // Автоматика и телемеханика, –1978, №12, –С. 37-47.
7. Фараджев, Р.Г. Аналитическое описание и квадратичная оптимизация двоичных многомерных нелинейных последовательностно-клеточных машин / Р.Г.Фараджев, А.Т.Нагиев, Ф.Г.Фейзиев // Докл. РАН, –1998, –Т.360, №6, –С.750-752.
8. Фейзиев, Ф.Г. Полиномиальное соотношение для представления полной реакции одного класса двоичных 4D-модулярных динамических систем / Ф.Г.Фейзиев, Н.Б.Абаева // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Информатика. –2019. Вып. 2(45). –С 46–54.
9. Фейзиев, Ф.Г. Задача оптимального синтеза двоичных 4D-нелинейных модулярных динамических систем / Ф.Г.Фейзиев, Н.Б.Абаева // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика, –2020, № 53, –С. 102-109.

- 
10. Фейзи́ев, Ф.Г. Условия ортогональности входных последовательностей одного класса двоичных 4D – нелинейных модулярных динамических систем / Ф.Г.Фейзи́ев, Н.Б.Абаева // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика, –2021, № 55, –С. 80-90.

#### XÜLASƏ

#### İKİLİK 4D – QEYRİ-XƏTTİ MODULYAR DİNAMİK SİSTEMLƏRİNİN GİRİŞ ARDICILLIQLARININ XANALAR OBLASTINDA ORTOQONALLAŞDIRILMASI

*Feyziyev F.G., Abayeva N.B.*

**Açar sözlər:** *ikilik 4D – qeyri-xətti modulyar dinamik sistemləri, ortoqonal giriş ardıcılıqları, ortoqonallıq şərtləri, giriş ardıcılıqlarının xanalar oblastında ortoqonallaşdırılması.*

Volterra polinomlarının ikiqiymətli analoqu şəklində təsvir olunan ikilik 4D – qeyri-xətti modulyar dinamik sistemlərinə baxılır. 4D – qeyri-xətti modulyar dinamik sistemlərinin giriş ardıcılıqlarının xanalar oblastında ortoqonallaşdırılması üçün alqoritm təklif olunur. Təklif olunan alqoritm 4D – qeyri-xətti modulyar dinamik sistemlərinin ortoqonal giriş ardıcılıqlarının qurulması üçün olan alt alqoritmlərdən biridir.

#### SUMMARY

#### ORTHOGONALIZATIONS OF INPUT SEQUENCES OF BINARU 4D-NONLINEAR MODULAR DYNAMIC SYSTEMS IN CELLULAR DOMAIN

*Feyziyev F.G., Abayeva N.B.*

**Key word:** *binary 4D – nonlinear modular dynamic systems, orthogonal input sequences, orthogonality conditions, orthogonalization for input sequences in a cellular domain.*

Binary 4D – nonlinear modular dynamic systems, described as two valued analogues of Volterra polynomial is considered. An algorithm is proposed for orthogonalization sequences of binary 4D – nonlinear modular dynamic system in a cellular domain. The proposed algorithm is one of the sub-algorithms for constructing orthogonal input sequences for binary 4D – nonlinear modular dynamic system.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 21.02.2023 |
|                   | Son variant   | 03.03.2023 |

УДК 517.958: 539.3

DOI 10.54758/16801245\_2023\_23\_4\_12

## ВАРИАЦИОННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОВОЙ ДИАГНОСТИКИ МНОГОСВЯЗНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

МУСАЕВА МЕТАНЕТ АСАФ ГЫЗЫ [ORCID](#)

Азербайджанский государственный педагогический университет, доцент  
[musayeva08@inbox.ru](mailto:musayeva08@inbox.ru)

**Ключевые слова:** вариационный метод, обратная задача, разрешимость, тепловая диагностика.

**Введение.** В тепловой диагностике с помощью тепловых эффектов определяется теплофизическое состояние объекта. Создание методов решения неустойчивых задач совершили прогресс как в теории диагностики, так и в разработке необходимых устройств для этой цели (см. [1-10] и др.). Тепловая диагностика с многочисленными применениями в объектах с большими энергоносителями всегда актуальна (см. [4,9-14] и др.).

В работе изучаются вопросы тепловой диагностики динамических многосвязных объектов с разнородными материалами. Вариационными методами составлена математическая модель изучаемого процесса, которая базируется на решении обратной задачи об определении признаков диагностики объектов. Функционал качества в модели формируется на основе граничного наблюдения и является новой в подобных вопросах, постановка обратной задачи отличается от ранее изученных таких задач. Доказана однозначная разрешимость, указаны итеративные методы решения этой задачи, приведены экстремальные свойства функционала качества. Обсуждается влияние исходных данных и эталона на решение задачи диагностики.

**Постановка задачи.** Возьмем двумерное горизонтально-плоское сечение конструкций, состоящих из конечного набора многосвязных элементов с разнородными материалами. Предположим, что  $Q$  является конечной, многосвязной, плоской, неоднородной и изотропной областью с внешней границей  $\Gamma_0$  и с  $m$ -внутренними областями  $D_i, i=1,2,\dots,m$ , которые имеют не пересекающиеся замкнутые границы  $\Gamma_i, i=1,2,\dots,m, x=(x_1, x_2,)$  - пространственная точка областей,  $t \in (0, t_n), t_n$ -время наблюдения. Пусть между этими областями происходит нестационарный теплообмен за счет нагрева или охлаждения его элементов. В этом процессе может участвовать обтекание потоком смеси газ-жидкости, излучение и другие факторы.

Примем обозначения:  $D_0 = Q \setminus \bigcup_{i=1}^m D_i, \Omega_i = D_i \times (0, t_n), S_i = \Gamma_i \times (0, t_n), i=0,1,2,\dots,m, T_i(x,t)$ - температура в точке  $x$  областей  $D_i$  или  $\Gamma_i, i=0,1,2,\dots,m$ , в момент времени  $t$ . Принадлежность вектор-функции к функциональному пространству понимается в смысле, что каждая их компонента принадлежит этому пространству.  $D, \Omega, \Gamma, S$  – ради краткости, без индексное обозначение областей  $D_i, \Omega_i, \Gamma_i, S_i, i=0,1,2,\dots,m, H_i = L_2(\Omega_i)$  - гильбертово пространство квадратично суммируемых функций определенных в области  $\Omega_i, i=0,1,2,\dots,m, v=v(x,t)=(v_0, v_1, v_2,\dots, v_m)$  - признак диагностики, то есть набор таких физических характеристик объекта, которые однозначно определяют его физико-техническое состояние,  $V_{icr} = \{v_i: v_i \in H_i = L_2(\Omega_i), 0 < v_i \leq c_i < \infty, \|v_i - \omega_i\|_{H_i} \leq r_i < \infty\}$ , где  $c_i > 0, r_i > 0$  - заданные числа,  $i=0,1,\dots,m, V_{cr} = \prod_0^m V_{icr}$ - замкнутое, ограниченное и выпуклое множество в  $H = \prod_0^m H_i, \square = \square(x,t) = (\omega_0, \omega_1, \omega_2,\dots, \omega_m)$  - признак диагностики эталона,  $\omega \in V_{cr}, \theta_0(x,t)$  - распределение температуры в внешней относительно области  $\Omega_0$  среде,  $\theta_1(x,t)$  и  $\theta_2(x,t)$  - вектор функции

компоненты, которых являются решениями, прямых начально-краевых задач для уравнения теплопроводности,  $T_i(x,t)$  - температура в точке  $x$  области  $\Omega_i$ ,  $i=0,1,2,\dots,m$ , в момент времени  $t \in (0, t_n)$ ,  $h_i(x,t)$  - температура на границе  $S_i$ ,  $i=0,1,2,\dots,m$ ,  $g_i(x,t)$  - тепловой поток через границы  $S_i$ ,  $i=0,1,2,\dots,m$ ,  $\mu_i(x,t)$  - коэффициент теплоотдачи материала области  $\Omega_i$  через границы  $S_i$  во внешнюю среду, который принят в качестве компонента признака диагностики, то есть  $v_i(x,t) = \mu_i(x,t)$ ,  $i=0,1,2,\dots,m$ ,  $\lambda_i(x,t)$  - коэффициент теплопроводности материала области  $\Omega_i$ ,  $i=0,1,2,\dots,m$ ,  $f_i(x,t)$  - плотность тепловых источников в области  $\Omega_i$ ,  $i=0,1,2,\dots,m$ ,  $N_i$  - внешняя конормаль границы  $S_i$ ,  $i=0,1,2,\dots,m$ , то есть

$$\frac{\partial}{\partial N_i} T_i(x,t)|_{S_i} \equiv \sum_{k=1}^2 \lambda_i(x,t) \frac{\partial}{\partial x_k} T_i(x,t) \cos(\widehat{x_k, N_i})|_{S_i},$$

$L_2(D)$ ,  $L_2(\Omega)$ ,  $L_\infty(D)$ ,  $L_\infty(\Omega)$ ,  $\square_2^{l,l}(\Omega)$ ,  $W_2^{l,0}(S)$ ,  $W_2^{l,l}(\Omega)$ ,  $W_2^{l,0}(\Omega)$ ,  $\overset{0}{W}_2^{l,0}(\Omega)$  - функциональные пространства введенные, например, в [11,12] и др.

Пусть при принятых выше предположениях в области  $D_i$ ,  $i=0,1,2,\dots,m$ , процесс теплообмена описывается уравнением

$$\frac{\partial}{\partial t} T_i(x,t) = \text{div}[\lambda_i(x,t) \text{grad} T_i(x,t)] + f_i(x,t), \quad (x,t) \in \Omega_i, \quad (1)$$

с начальными

$$T_i(x,0) = \varphi_i(x), \quad x \in D_i, \quad (2)$$

граничными условиями

$$\begin{aligned} -\frac{\partial}{\partial N} T_0(x,t) &= \mu_0(x,t)[\theta_0(x,t) - T_0(x,t)], \quad (x,t) \in S_0 \\ -\frac{\partial}{\partial N} T_i(x,t) &= \mu_i(x,t)[T_0(x,t) - T_i(x,t)], \quad (x,t) \in S_i, \quad i=1,2,\dots,m, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $f_i(x,t)$ ,  $\varphi_i(x)$ ,  $\lambda_i(x,t)$ ,  $\theta_0(x,t)$ ,  $i=0,1,2,\dots,m$  - заданные функции и  $\mu_i(x,t) = v_i(x,t)$ ,  $i=0,1,2,\dots,m$  - коэффициенты теплоотдачи материала области  $\Omega_i$  через границы  $S_i$  во внешнюю среду. В принятом выше модели коэффициенты системы (1)-(3) могут иметь разрывы первого рода. Если разрывы первого рода коэффициентов не являются границами областей  $\Omega_i$ ,  $i=0,1,2,\dots,m$ , где задаются условия (3), то в них предполагается выполнимость непрерывности решений и теплового потока.

Коэффициент теплоотдачи является одним из основных теплофизических характеристик материалов. Пусть для определения признака диагностики дополнительно к условиям (1)-(3) заданы следующие граничные условия:

$$T_i(x,t) = h_i(x,t), \quad (x,t) \in S_i, \quad i=0,1,2,\dots,m. \quad (4)$$

где  $h_i(x,t)$  - заданные функции. В результате получим обратную задачу об определении признаков диагностики  $v(x,t)$  из условий (1)-(4). Примем обозначения:  $g_0(x,t) = \theta_0(x,t) - h_0(x,t)$ ,  $(x,t) \in S_0$ ;  $g_i(x,t) = h_0(x,t) - h_i(x,t)$ ,  $(x,t) \in S_i$ ,

где  $i=1,2,\dots,m$ . Тогда граничные условия (3) могут быть записаны в виде:

$$-\frac{\partial}{\partial N} T_i(x,t) = v_i(x,t) g_i(x,t), \quad (x,t) \in S_i, \quad i=0,1,2,\dots,m. \quad (5)$$

При известных функциях  $f_i(x,t)$ ,  $\varphi_i(x)$ ,  $h_i(x,t)$ ,  $g_i(x,t)$ ,  $\lambda_i(x,t)$  и при выбранном признаке диагностики  $v(x,t)$  из множества  $V_{cr} \subset H$  задачу определения решения уравнения (1) при заданных начально-краевых условиях назовем прямой задачей диагностики. Прямые задачи диагностики являются начально-краевыми задачами для уравнения (1). Для удобства изложения определений прямых задач, обычно, рассмотрим однородные граничные условия, так как заменой  $\tilde{T}_i(x,t) = T_i(x,t) - \tilde{T}_i(x,t)$ , где  $\tilde{T}_i(x,t)$  определена в область  $\Omega_i$  на ее поверхности  $S_i$ ,  $i=0,1,2,\dots,m$ , совпадает с заданным неоднородным граничным условием.

**Определение 1.** Под решением прямой задачи (1), (2), (4) подразумевается вектор функция  $\theta_l = \theta_l(x,t)$  с компонентами  $T_i(x,t)$  такая, что функции  $\tilde{T}_l(x,t) = T_l(x,t) - \tilde{T}_l(x,t) \in \overset{0}{W}_2^{1,0}(\Omega_l)$ ,  $i=0,1,\dots,m$  удовлетворяются интегральные тождества

$$\iint_{\Omega_i} [-\bar{T}_i(x, t) \Psi_{it}(x, t) + \lambda_i(x, t) \text{grad} \bar{T}_i(x, t) \text{grad} \Psi_i(x, t) - \bar{f}_i(x, t) \Psi_i(x, t)] dx dt = \iint_{D_i} \bar{\varphi}_i(x) \Psi_i(x, 0) dx, \quad i = 0, 1, \dots, m, \quad (6)$$

для любых  $\Psi_i = \Psi_i(x, t) \in W_{2,0}^{1,1}(\Omega_i)$  равные нулю при  $t=t_n$  и  $\bar{T}_i(x, t)$  удовлетворяет (1), (2), когда  $f_i(x, t)$  и  $\varphi_i(x)$  заменены на  $\bar{f}_i(x, t)$  и  $\bar{\varphi}_i(x)$ , соответственно.

**Определение 2.** Под решением прямой задачи диагностики (1),(2),(5)

подразумевается вектор функцию  $\theta_2 = \theta_2(x, t)$  с компонентами  $T_i(x, t) \in W_2^{1,0}(\Omega_i)$ ,  $i=0, 1, \dots, m$ , которые удовлетворяют интегральному тождеству

$$\begin{aligned} \iint_{\Omega_i} [-T_i(x, t) \Psi_{it}(x, t) + \lambda_i(x, t) \text{grad} T_i(x, t) \text{grad} \Psi_i(x, t) - \\ - f_i(x, t) \Psi_i(x, t)] dx dt = \iint_{D_i} \varphi_i(x) \Psi_i(x, 0) dx - \\ - \iint_{S_i} v_i(x, t) g_i(x, t) \Psi_i(x, t) dx dt, \end{aligned} \quad (7)$$

для любых функций  $\Psi_i = \Psi_i(x, t) \in W_2^{1,1}(\Omega_i)$ , равных нулю при  $t=t_n$ .

Пусть заданные функции  $f_i(x, t)$ ,  $\varphi_i(x)$ ,  $h_i(x, t)$ ,  $g_i(x, t)$ ,  $i=0, 1, 2, \dots, m$  в (1)-(5) принадлежать пространствам  $L_2(\Omega_i)$ ,  $L_2(D_i)$ ,  $W_2^{1/2,0}(S_i)$ ,  $L_2(S_i)$ ,  $i=0, 1, 2, \dots, m$ , соответственно и коэффициенты  $\lambda_i(x, t)$ ,  $i=0, 1, 2, \dots, m$ , заданы, положительны, ограниченно измеримые функции. Прямые задачи в смысле определений 1 и 2 при каждом выбранном  $v(x, t)$  из множества  $V_{cr} \subset H$  являются обобщенными решениями из пространства  $W_2^{1,0}(\Omega)$  указанных выше начально-краевых задач. В работах [11,12] и др. такие задачи изучены как задачи дифракции и доказаны, что при перечисленных выше условиях прямые задачи в смысле определений 1 и 2 имеют единственные решения  $\theta_1(x, t)$  и  $\theta_2(x, t)$  из пространства  $W_2^{1,0}(\Omega)$  и эти решения непрерывно зависят от функции  $f_i(x, t)$ ,  $\varphi_i(x)$ ,  $h_i(x, t)$ ,  $g_i(x, t)$ ,  $i=0, 1, 2, \dots, m$  в  $L_2(\Omega_i)$ ,  $L_2(D_i)$ ,  $W_2^{1/2,0}(S_i)$ ,  $L_2(S_i)$ ,  $i=0, 1, 2, \dots, m$ , соответственно.

Для определения признака диагностики  $v(x, t)$  рассмотрим вариационную формулировку обратной задачи (1)-(5). При этом  $i$ -ая компонента вектор-функции  $v(x, t)$  ищется на множестве  $V_{icr} \subset H_i$ ,  $i=0, 1, 2, \dots, m$ . Обратные задачи теплопроводности изучены в различных постановках (см. [1,2,4, 5,6,10] и др.) и задача (1)-(5), данная ниже ее вариационная формулировка отличаются от них.

Число  $d(v) = \|v - \bar{v}\|_H^2$  выражает отклонение признака диагностики объекта  $v \in V_{cr} \subset H$  и эталона  $\bar{v} \in V_{cr} \subset H$ . Другим значимым фактором выявления дефектов является изменения вызванной характерными величинами процессов, протекающих в объектах. В тепловой диагностике такой характерной величиной могут быть теплофизические характеристики конструкций. Они влияют на функции  $\theta_1(x, t)$ ,  $\theta_2(x, t)$  и меняют процесс. Исходя из принципа Лагранжа (см. [1,7,8,10] и др.) составим задачу минимизации функционала

$$J_\alpha(v) = \|\theta_1(x, t) - \theta_2(x, t)\|_H^2 + \alpha \|v(x, t) - \bar{v}(x, t)\|_H^2 \rightarrow \inf, \quad (8)$$

на множестве  $V_{cr} \subset H$  с заданным числовым параметром  $\alpha \geq 0$  и заданным признаком диагностики эталона  $\bar{v} \in V_{cr} \subset H$ .

**Разрешимость вариационной постановки обратной задачи.**

**Теорема 1.** При указанных выше предположениях функционал  $J_0(v)$  снизу ограничен и непрерывен на множестве  $V_{cr} \subset H$ , в пространстве  $H$  существует такое всюду плотное множество  $K \subset H$ , что для любого признака диагностики эталона  $\bar{v} \in K \subset H$ , задача (8) при заданном числе  $\alpha > 0$  имеет единственное решение, это решение сильно непрерывно зависит от элемента  $\bar{v} \in V_{cr} \subset H$ .

**Доказательство.** Функционал  $J_0(v)$  положителен, поэтому, он снизу ограничен на множестве  $V_{cr} \subset H$ . Проверим непрерывность функционала  $J_0(v)$  на этом множестве. Для каждого выбранного признака диагностики  $v \in V_{cr} \subset H$  при перечисленных выше условиях

прямые задачи диагностики в смысле определений 1 и 2 имеют единственные решения. Пусть  $v^{(1)}, v^{(2)} \in V_{cr} \subset H$  произвольные элементы множества  $V_{cr} \subset H$  и  $\Delta v = v^{(2)} - v^{(1)} \in V_{cr} \subset H$ . Оценим  $\Delta \Theta_1$  и  $\Delta \Theta_2$  по норме пространства  $H$ . Из тождества (6) следует, что вектор функция  $\Theta_1 = \Theta_1(v; x, t)$  не зависит от  $v \in V_{cr} \subset H$ , поэтому,  $\Delta \Theta_1 = 0$ . Из тождества (7) получим, что

$$\|\Delta \Theta_2\|_H = O(\|\Delta v\|_H), \quad (9)$$

где функция  $O(\varepsilon)$  стремится к нулю как аргумент  $\varepsilon > 0$ . Из (9) следует, что выражение  $\Delta \Theta_2$  по норме  $H$  стремятся к нулю как  $\Delta v$ . Из вида  $J_0(v)$  следует, что модуль приращения  $\Delta J_0(v)$  оценивается выражениями  $\Delta \Theta_1 = 0$  и  $\Delta \Theta_2$ . Из условия произвольности  $v^{(1)}, v^{(2)} \in V_{cr} \subset H$ , следует непрерывность  $J_0(v)$ .

Доказательство теоремы продолжим, используя следствие из вариационного принципа Экланда [15-17]. В [15] доказывается что, если функционал  $\Phi_0(y)$  полу-непрерывен снизу и снизу ограничен на непустом замкнутом ограниченном множестве  $Y \subset X$  - равномерно выпуклого банахово пространства  $X$ , тогда существует такое всюду плотное множество  $M \subset X$  этого пространства, что для любого элемента  $y_0 \in M \subset X$ , задача минимизации функционала  $\Phi_\alpha(y) = \Phi_0(y) + \alpha \|y - y_0\|_X^2$  на множестве  $Y \subset X$ , при заданном положительном числовом параметре  $\alpha > 0$ , имеет единственное решение, оно сильно непрерывно зависит от элемента  $y_0 \in Y \subset X$ . Здесь в качестве равномерно выпуклого пространства  $X$  возьмем гильбертово пространство  $H$ , так как, гильбертово пространства всегда являются равномерно выпуклыми [11,13,14]. В приведенном выше утверждении из [15] положим:  $\Phi_0(y) = J_0(v)$ ,  $\Phi_\alpha(y) = J_\alpha(v)$ ,  $U = V_{cr}$ ,  $y = v$ ,  $y_0 = \square$ . Эти величины удовлетворяют всем условиям приведенного выше утверждения из работы [15]. В теореме предполагается, что параметр  $\alpha > 0$ . Тогда, согласно приведенному результату из [15], в пространстве  $H$  существует такое всюду плотное множество  $K \subset H$ , что для любого элемента  $\square \in V_{cr} \subset H$ , экстремальная задача (8) при  $\alpha > 0$  имеет единственное решение. Кроме того, это решение сильно непрерывно зависит от признака диагностики эталона  $\square \in V_{cr} \subset H$ . Теорема 1 доказана.

**Теорема 2.** При перечисленных выше условиях, для любого числа  $\varepsilon > 0$  существует такой элемент  $v_\varepsilon \in V_{cr} \subset H$ , что для функционала  $J_\alpha(v)$  в (8) и любых элементов  $z$  и  $w$  множества  $V_{cr} \setminus \{v_\varepsilon\} \subset H$ , при заданном числе  $\alpha \geq 0$  имеют места неравенства

$$\begin{aligned} J_\alpha(v_\varepsilon) &\leq \inf_{v \in V_{cr}} J_\alpha(v) + \varepsilon, \quad \|w - v_\varepsilon\|_H \leq \varepsilon, \quad \|z - v_\varepsilon\|_H \leq \varepsilon, \\ J_\alpha(v_\varepsilon) + \varepsilon \|w - v_\varepsilon\|_H &\leq J_\alpha(w), \quad w \in V_{cr} \setminus \{v_\varepsilon\} \subset H, \\ J_\alpha(v_\varepsilon) &\leq J_\alpha(z) + \varepsilon \|z - v_\varepsilon\|_H, \quad z \in V_{cr} \setminus \{v_\varepsilon\} \subset H. \end{aligned} \quad (10)$$

**Доказательство.** В предыдущей теореме доказана непрерывность функционал  $J_0(v)$ . Следовательно, при этих условиях функционал  $J_\alpha(v)$  также непрерывен на множестве  $V_{cr} \subset H$ . Эти функционалы положительны и снизу ограничены. Поэтому, существует нижний гран функционала  $J_\alpha(v)$ . Указанное в теореме неравенство  $J_\alpha(v_\varepsilon) \leq \inf_{v \in V_{cr}} J_\alpha(v) + \varepsilon$ , следует из существования нижней грани снизу ограниченного непрерывного функционала.

Согласно следствию из принципа Экланда приведенном в [17], если функционал  $\Phi(y)$  снизу полу-непрерывен и снизу ограничен на множестве  $Y \subset X$  - полного банахово пространства  $X$ , тогда для любого числа  $\varepsilon > 0$ , найдется элемент  $y_\varepsilon \in Y \subset X$ , что для любых элементов  $q \in Y \setminus \{y_\varepsilon\} \subset X$  и  $p \in U \setminus \{y_\varepsilon\} \subset X$ :

$$\begin{aligned} \Phi(y_\varepsilon) &\leq \inf_{y \in Y} \Phi(y) + \varepsilon, \quad \|p - y_\varepsilon\|_X \leq \varepsilon, \quad \|q - y_\varepsilon\|_X \leq \varepsilon, \\ \Phi(y_\varepsilon) + \varepsilon \|p - y_\varepsilon\|_X &\leq \Phi(p), \quad p \in U \setminus \{y_\varepsilon\} \subset X, \\ \Phi(y_\varepsilon) &\leq \Phi(q) + \varepsilon \|q - y_\varepsilon\|_X, \quad q \in U \setminus \{y_\varepsilon\} \subset X. \end{aligned} \quad (11)$$

Гильбертово пространство является полным банаховым пространством. Условие доказываемой теоремы допускает, что в приведенном выше следствии из принципа Экланда в работе [17] приняты следующие обозначения:  $X = H$ ,  $\Phi(y) = J_\alpha(v)$ ,  $Y = V_{cr}$ ,  $y = v$ ,  $q = z$ ,  $p = w$ . Тогда получим, что для функционала  $J_\alpha(v)$  в задаче (8) выполняются все условия

приведенного следствия из вариационного принципа Экланда, приведенного в работе [17]. Это следствие выражено в виде неравенства (11). Нетрудно убедиться, что из соотношений (11) при принятых выше обозначениях величин непосредственно следуют неравенства в (10). Теорема 2 доказана.

**Заключение.** Если дополнительно к принятым выше условиям предположим, что функционал  $J_0(v)$  непрерывно дифференцируем на множестве  $V_{cr}$ , то для решения задачи (8) может быть применена итеративная процедура, аналогично работам [1,7-9] и др. Здесь укажем метод условного градиента такой процедуры:

$$v^{(s+1)}(x,t) = v^{(s)}(x,t) + \beta_s [w^{(s)}(x,t) - v^{(s)}(x,t)], \quad s=0,1,2,\dots,$$

где  $w^{(0)}(x,t)$ ,  $v^{(0)}(x,t) \in V_{cr}$  - начальные приближения, число  $\beta_s \in (0,1)$  – определяется из условия убывания функционала  $J_0'(v)$ , элемент  $w^{(s)} = w^{(s)}(x,t)$  – определяется из минимума линейного функционала:

$$\langle J_0'(v^{(s)}), w - v^{(s)} \rangle + 2\alpha \langle v^{(s)} - \bar{v}, w - \bar{v} \rangle \rightarrow \inf, \quad w \in V_{cr}, \quad s=1,2,\dots$$

В результате находится последовательность функций  $\{v^{(s)}(x,t)\} \in V_{cr}$ . Нетрудно дать условия сходимости, а в случае неустойчивости задачи регуляризация этой последовательности [1,7-9]. Эффективность итеративных алгоритмов с большой скоростью сходимости типа метода Ньютона, сопряженных градиентов задаются аналогично. При условии непрерывно дифференцируемости функционала  $J_0(v)$ , для задачи (8) имеет место необходимое условие экстремума в виде вариационного неравенства [7-9].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов, А.Н. Методы решения некорректных задач / А.Н.Тихонов, В.Я.Арсенин –М.: Наука, –1979, –285 с.
2. Лаврентьев, М.М. Некорректные задачи математической физики и анализа / М.М.Лаврентьев, В.Г.Романов, С.П.Шишатский. –М.: Наука, –1980, –286 с.
3. Тихонов, А.Н. Математические задачи компьютерной томографии / А.Н.Тихонов, В.Я.Арсенин, А.А.Тимонов. –М.: Наука, –1987, 160 с.
4. Огородников, И.Н. Введение в обратные задачи физической диагностики / И.Н.Огородников. – Екатеринбург: Уральский университет, –2017, –199 с.
5. Бек, Дж. Некорректные обратные задачи теплопроводности / Дж.Бек, Б.Блакуэлл, Ч.Сант-Клер. –М.: Мир, –1989, –311 с.
6. Самарский, А. А., Вабищевич П. Н. Вычислительная теплопередача / А.А.Самарский, П.Н.Вабищевич. –М.: Едиториал УРСС, –2003, –784 с.
7. Тихонов, А.Н. Нелинейные некорректные задачи / А.Н.Тихонов, А.С.Леонов, А.Г.Ягола. –М.: КУРС, –2017, –400 с.
8. Васильев Ф.П. Методы оптимизации / Ф.П. Васильев. –М.: Факториал Пресс, –2011, –620 с.
9. Искендеров А.Д. Идентификация квантовых потенциалов / А.Д.Искендеров, Г.Я.Ягубов, М. А.Мусаева. –Баку: Чашыюглу, –2012, –548 с.
10. Искендеров, А.Д. Вариационная постановка многомерных обратных задач //Докл. АН СССР, –1983. –Т.274, №3. –С. 531-534.
11. Ладыженская, О. А. Краевые задачи математической физики / О.А.Ладыженская. –М.: Наука, –1973, –409 с.
12. Ладыженская, О.А. Линейные и квазилинейные уравнения параболического типа / О. А.Ладыженская, В.А.Солонников, Н.Н.Уральцева. –М.: Наука, –1967, –736 с.
13. Мошошин, О.Ф. Диагностика авиационной техники / О.Ф. Мошошин. –М.: МГТУ. –2007.
14. Нестерук, Д.А. Тепловой контроль и диагностика / Д.А.Нестерук, В.П.Вавилов. –Томск: ТГУ, –2007, –112 с.
15. Goebel M. On existence of optimal control // Math. Nachr. 93 (1979), –pp.67–73

16. Экланд, И. Выпуклый анализ и вариационные проблемы / И.Экланд, Р.Темам. –М.: Мир. –1979, –400 с.
17. Кобзаш, С. Неподвижные точки и полнота в метрических и обобщённых метрических пространствах //Фундамент. и прикл. матем. –2018, –Т. 22, выпуск 1, –С.127–215
18. Əliyev, N.Ə. İkiölçülü, xətti 2/3-tərtibli elliptik tip diferensial tənliyin fundamental həllinin Koşi-Riman tənliyinin fundamental həllindən alınması / N.Ə. Əliyev, N.S. İbrahimov, A.I. Quliyev // SDU. Elmi xəbərlər. Təbiə və texniki elmlər bölməsi. – 2021. – C. 21, No. 1. – s.4-8. – EDN EYHRBL. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46196400>
19. Мусаева, М.А. Вариационные методы определения квантовых потенциалов / Мусаева, М.А. –Бакы: Elm-təhsil, –2019.

**XÜLASƏ**  
**ÇOXƏLAQƏLİ KONSTRUKSIYALARIN İSTİLİK DİAQNOSTİKASI ÜÇÜN**  
**TƏRS MƏSƏLƏNİN VARIASIYA ÜSULU İLƏ HƏLLİ**  
**Musayeva M.A.**

**Açar sözlər:** *variasiya üsulu, tərs məsələ, yeganə həll olunanlıq, istilik diaqnostikasi.*

Çoxəlaqəli konstruksiyaların istilik diaqnostikasi üçün tərs məsələnin variasiya üsulu ilə həlli araşdırılır. Bunun üçün seçilən keyfiyyət funksionalı əvvəllər tərs və diaqnostika məsələlərində istifadə olunmamışdır, yenidir. Problem ifadəsinin formalaşması üçün keyfiyyət funksionallığı yenidir, əvvəllər tərs problemlər və diaqnostika nəzəriyyəsində istifadə edilməmişdir. Tərs problemin birmənalı həlli haqqında teorem sübut edilmişdir, onun həlli üçün təkrarlanan alqoritm göstərilir, istinad funksiyasının nəzərdən keçirilən problemin həllinə təsiri müzakirə olunur.

**SUMMARY**  
**VARIATIONAL METHOD SOLVING THE INVERSE PROBLEM OF THERMAL DIAGNOSTICS**  
**OF MULTIPLY CONNECTED CONSTRUCTORS**  
**Musayeva M. A.**

**Keywords:** *variational method, inverse problem, solvability, thermal diagnostics.*

A variational method for solving the inverse problem of determining thermic characteristics, which are signs of diagnostics of multiply connected constructors with dissimilar materials is considered. The quality functional for the formation of statement of problem is new, before it has not been used in the theory of inverse problems and diagnostics. A theorem on the unique solvability of the inverse problem is proved, an iterative algorithm for its solution is indicated, the influence of the etalon function on the solution of the considering problem is discussed.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 08.02.2023 |
|                   | Son variant   | 27.02.2023 |

UOT541.128.9

DOI 10.54758/16801245\_2023\_23\_4\_18

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ $p$ - $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ - $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ и $n$ - $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ - $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ МЕТОДОМ АНДЕРСОНА

<sup>1</sup>ОРУДЖЕВ САМИР КАМАЛ ОГЛУ [ORCID](#)<sup>1</sup>ИСМАЙЫЛОВ РАМИЗ МЕЗАХИР ОГЛУ [ORCID](#)<sup>2</sup>ИСМАЙЫЛОВА ХАДИДЖА ИКРАМ ГЫЗЫ

Сумгаитский государственный университет, Азербайджан, 1- доцент, 2 - тьютор  
[osamir@mail.ru](mailto:osamir@mail.ru)

**Ключевые слова:** работа выхода, пространственный заряд, поверхностные состояния, контактная разность потенциалов, электрохимическое травление.

Термоэлектронным методом контактной разности потенциалов (методом Андерсона) исследовано влияние обработки поверхности на работу выхода электрона для монокристаллов полупроводниковых твердых растворов  $p$ - $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ - $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  и  $n$ - $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ - $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ . Показано, что электрохимическое травление поверхности кристаллов приводит к изменению работы выхода электронов (РВЭ): для кристаллов  $p$ -типа  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ - $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  РВЭ увеличивается на 0,28 эВ, а для кристаллов  $n$ -типа  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ - $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  РВЭ уменьшается на 0,47 эВ. Эти изменения в значениях РВЭ объясняются изменением концентрации имеющихся на поверхности локальных образований, имеющих сродство к электрону.

Свойства поверхности полупроводников и границ раздела металл-полупроводник в значительной мере зависят от природы поверхностных электронных состояний и заряда, захваченного на поверхности или на границе раздела и формирующего область пространственного заряда [1].

В присутствии поверхностных состояний изгиб зон в полупроводнике существует до приведения его в соприкосновение с контактным материалом, т.е. до нанесения контактного материала на поверхность кристалла и зависит от концентрации и положения поверхностных уровней. При этом, чем больше плотность поверхностных состояний и чем ближе расположены их уровни к уровню Ферми, тем меньше изменение изгиба зон при нанесении контакта и высота барьера на границе раздела металл-полупроводник оказывается практически не зависящей от работы выхода контактного материала и проводимости полупроводника.

Область пространственного заряда во многом определяет процессы протекания тока через границу раздела и в конечном счете свойства полупроводникового прибора. В свою очередь характеристики области пространственного заряда (величина и знак изгиба энергетических зон, скорость рекомбинации и др.) зависят от таких физико-химических свойств поверхности, как элементный состав, кристаллическая структура, электронное строение. В связи с этим контролируемое и целенаправленное управление свойствами границы раздела контактного материала с полупроводником возможно только при совместном изучении влияния характеристик области пространственного заряда на работу полупроводникового прибора и физико-химических свойств поверхности на параметры области пространственного заряда.

Одним из чувствительных методов обнаружения изменений поверхностного заряда является измерение работы выхода электрона: всякое изменение работы выхода связано с

изменением условий на поверхности и полностью обусловлено соответствующими нарушениями равновесия в двойном поверхностном слое.

Высокая чувствительность работы выхода к различным факторам, -определяющим состояние поверхности кристалла, позволяет использовать её для оценки состояния приповерхностных структур.

Для определения работы выхода электрона был выбран термоэлектронный метод контактной разности потенциалов [2-4].

Описание экспериментальной установки для определения работы выхода электрона методом контактной разности потенциалов было приведено ранее в работе [ 5 ].

В настоящей работе представлены результаты определения методом тока насыщения работы выхода электрона для образцов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$  (р-тип) и  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  (n-тип), поверхности которых подвергали обработке электрохимическим травлением.

Метод тока насыщения основан на снятии ВАХ между накалившимся катодом и коллектором (анодом). При этом характеристики должны охватывать начальные токи насыщения при условии практического отсутствия влияния пространственного заряда. Благодаря наличию контактной разности потенциалов точка перегиба характеристик лежит не при нулевом анодном потенциале, а при потенциале, равном контактной разности потенциалов между катодом и коллекторов (анодом). Соответствующие ВАХ и результаты их обработки представлены на рис.1-2.

Как видно из этих графиков, на ВАХ можно выделить три области: область начальных токов, область влияния пространственного заряда и область токов насыщения.

Экстраполируя прямолинейные участки характеристик, для каждой из них получаем, точку перегиба. Потенциал, соответствующий полученной для одного из коллекторов точке перегиба, равен контактной разности потенциалов между катодом и данным коллектором.

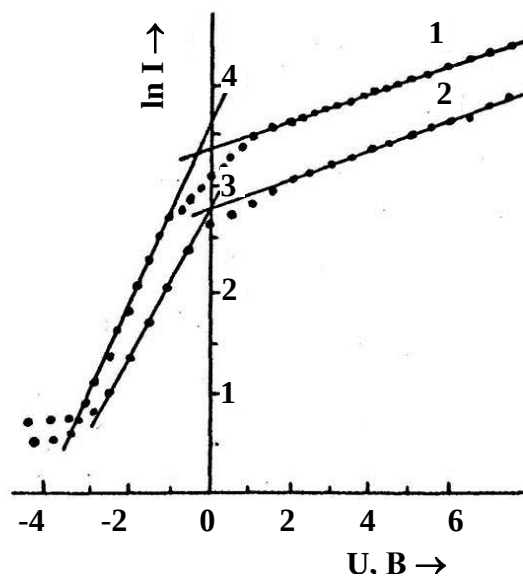
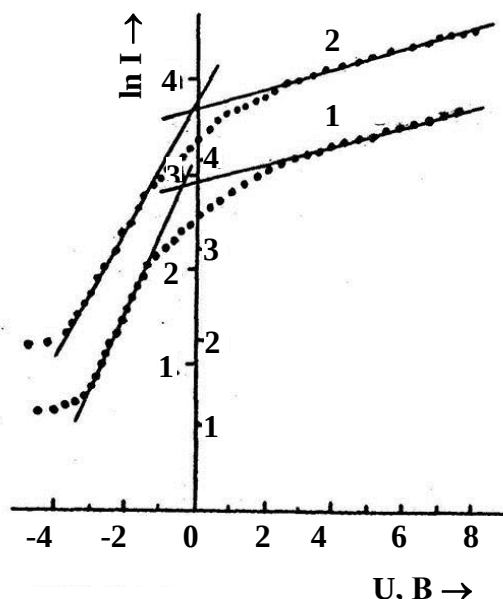


Рис. 1. ВАХ системы вольфрамовый катод - танталовый Ta (1) и никелевый Ni (2) коллектор



**Рис. 2.** ВАХ системы вольфрамовый катод – полупроводник  $p\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$  (1) и  $n\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  (2), поверхности которых подвергали электрохимической обработке. На оси ординат правая шкала - для кривой 1, левая - для кривой 2

Так, для танталового (рис. 1, кр.1) и никелевого (рис. 1, кр. 2) коллекторов находим контактную разность потенциалов равную, соответственно:

$$U_{\text{крп}}^1 = \varphi_{\text{Ta}} - \varphi_{\text{к}} = -0,30 \text{ эВ} \quad (1)$$

$$U_{\text{крп}}^2 = \varphi_{\text{Ni}} - \varphi_{\text{к}} = +0,10 \text{ эВ} \quad (2)$$

Итак, при замене коллекторов происходит смещение характеристик вдоль оси напряжений, что обусловлено различными значениями работы выхода никелевого и танталового коллекторов. Необходимо отметить, что при строго одинаковой геометрии и расположении коллекторов должно происходить параллельное смещение характеристик на величину разности работ выхода никеля и тантала.

Однако, из графиков видно, что в области начальных токов ВАХ коллекторов наблюдается некоторая не параллельность. Такого хода характеристик следовало ожидать, потому, что при замене одного коллектора другим трудно добиться их идеально одинаковой геометрии и расположения.

Полученное из рис. 1 экспериментальное значение  $\varphi(\text{Ni}) - \varphi(\text{Ta}) = 0,40 \text{ эВ}$  хорошо согласуется с контактной разностью потенциалов  $\Delta\varphi=0,38 \text{ эВ}$ , вычисленной с использованием величин работ выхода  $\varphi(\text{Ni})=4,30 \text{ эВ}$  и  $\varphi(\text{Ta})= 4,12 \text{ эВ}$ , приведенных в [3], что свидетельствует о том, что выбранный метод смещения характеристик для работы выхода дает достоверные результаты.

Аналогичным образом из ВАХ для образцов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$  (р-тип) и  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  (п-тип), поверхность которых подвергалась электрохимическому травлению, экстраполяцией прямых участков находим точки перегиба (рис. 2), а по смещению этих точек от нулевого потенциала вдоль оси напряжений определяем контактную разность потенциалов между катодом и полупроводниковым образцом:

$$U_{\text{крп}}^{(1)} = \varphi_{\text{р-тип}} - \varphi_{\text{катод}} = -0,45 \text{ эВ} \quad (3)$$

$$U_{\text{крп}}^{(2)} = \varphi_{\text{п-тип}} - \varphi_{\text{катод}} = -0,06 \text{ эВ} \quad (4)$$

Относительное смещение точек перегиба, экстраполированных ВАХ полупроводников и, например, тантала определяет разницу их работ выхода:

$$\Delta\varphi_1 = \varphi_{Ta} - \varphi_{p-тип} = U_{крп}^1 - U_{крп}^{(1)} = -0,30 + 0,45 = +0,15 \text{ эВ}$$

$$\Delta\varphi_2 = \varphi_{Ta} - \varphi_{n-тип} = U_{крп}^1 - U_{крп}^{(2)} = -0,30 + 0,06 = -0,24 \text{ эВ}$$

Отсюда находим для работы выхода для полупроводниковых образцов:

$$\varphi_{p-тип} = \varphi_{Ta} - \Delta\varphi_1 = 4,12 - 0,15 = 3,97 \text{ эВ} \quad (5)$$

$$\varphi_{n-тип} = \varphi_{Ta} - \Delta\varphi_2 = 4,12 + 0,24 = 4,36 \text{ эВ} \quad (6)$$

Анализ полученных результатов показывает, что электрохимическое травление поверхности кристаллов приводит к изменению работы выхода электронов (РВЭ): для кристаллов р-типа  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$  РВЭ увеличивается на 0,27-0,30 эВ, а для кристаллов n-типа  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  РВЭ уменьшается на 0,46-0,47 эВ. Эти изменения в значениях РВЭ можно объяснить изменением концентрации имеющихся на поверхности локальных образований, имеющих сродство к электрону.

Для объяснения полученных результатов представим работу выхода электрона (РВЭ) как сумму двух слагаемых [6]:

$$\varphi = \varphi_s - \mu,$$

где  $\varphi_s$  - вклад в РВЭ электростатического барьера на границе металл-вакуум,  $\mu$  - электрохимический потенциал (уровень Ферми) в объеме кристалла. Очевидно, что  $\varphi_s$  будет зависеть от свойств и процессов, происходящих на поверхности, тогда как является функцией только объемных характеристик кристалла. В обычных условиях, т.е. на воздухе поверхность полупроводника всегда покрыта слоем окислов. Кроме того на поверхности адсорбируются чужеродные - атомы или молекулы. Наконец, на поверхности всегда существуют структурные дефекты, возникающие в процессе скалывания и резки кристаллов - вакансии, атомы, сместившейся со своих законных мест в узлах в междоузлия. Все эти примесные и структурные нарушения могут служить источниками поверхностных состояний, энергетические уровни которых расположены в запрещенной зоне полупроводникового кристалла.

В процессе электроэрозионной резки кристаллов возможно появление дополнительных структурных нарушений вследствие взаимодействия электрического разряда с обрабатываемым кристаллом, которые могут изменять его электрофизические свойства.

Исследование глубины и структуры нарушенного слоя на поверхности реза поэтапным стравливанием и рентгеновскими методами показало, что глубина нарушенного слоя для кристаллов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$  (р-тип) составляет  $\sim 30$  мкм, а для кристаллов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  (n-тип) - около 20 мкм.

В процессе электроэрозионной резки возможен также перенос материала электродов на поверхность разрезаемого кристалла подобно тому, как это происходит при электроискровом легировании [7-8]. Шаржированные таким образом в поверхностный слой кристалла частицы материала электрода (вольфрама) могут также служить локальными центрами, вносящими определенный вклад в спектр поверхностных состояний.

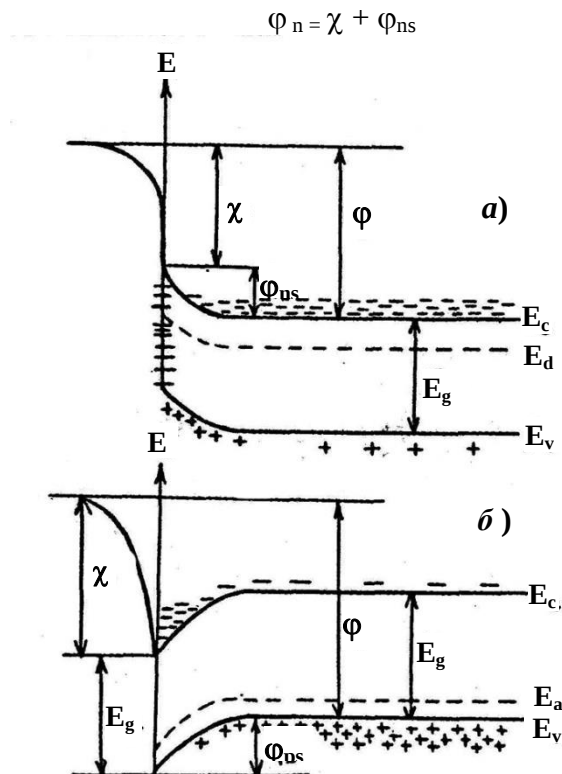
Таким образом, при всяком воздействии на поверхность кристалла и изменении состояния поверхности (спектра поверхностных состояний) будет изменяться лишь электростатическая составляющая РВЭ, т.е. изменение РВЭ при этом равно изменению электростатического барьера (поверхностного потенциала)  $\varphi_s$ , т.е.  $\Delta\varphi = \Delta\varphi_s$ .

Очевидно, что состоянием поверхности кристалла можно управлять, подвергая ее различным видам обработки и воздействий и таким образом управлять величиной поверхностного потенциала  $\varphi_s$ , а значит и работы выхода электрона  $\varphi$ .

Если на поверхности полупроводника n-типа после резки преобладают акцепторные поверхностные состояния, они будут захватывать электроны из прилегающей к поверхности объема кристалла и поверхность будет заряжена отрицательно.

Если на поверхности полупроводника n-типа после резки преобладают акцепторные поверхностные состояния, они будут захватывать электроны из прилегающей к поверхности объема кристалла и поверхность будет заряжена отрицательно.

Не будь поверхностных состояний, работа выхода для кристалла n-типа равнялась бы приблизительно величине электронного сродства  $\chi$ . При наличии же поверхностных состояний (рис. 3, а) работа выхода увеличивается на величину поверхностного потенциала  $\phi_s$ , т.е.



**Рис. 3.** Энергетическая диаграмма для полупроводника n-типа при отрицательном заряде, сосредоточенном на поверхностных состояниях (а) и полупроводника p-типа, при положительном заряде поверхностных состояний (б)

Аналогичный спектр акцепторных поверхностных состояний, возникающий на поверхности кристаллов p-типа при идентичных условиях резки, будет захватывать дырки из объема кристалла и заряжаться положительно (рис. 3, б).

Работа выхода при этом уменьшается на величину поверхностного потенциала  $\phi_{ps}$ . Так как при отсутствии поверхностных состояний работа выхода для полупроводника p-типа равна  $\phi_p = \chi + E_g$ , где  $E_g$  - ширина запрещенной зоны полупроводника, то в рассматриваемом случае, при наличии поверхностного потенциала  $\phi_s$ , работа выхода для кристалла p-типа составит:

$$\phi_p = \chi + E_g - \phi_{ps}.$$

Как указывалось выше, электрохимическое травление поверхности кристалла способствует удалению нарушенного поверхностного слоя кристаллов, устраняет поликристаллический слой, искажения решетки. Это приводит к уменьшению концентрации поверхностных состояний - точечных дефектов, вакансий и т.д., являющихся ловушками для свободных носителей заряда.

Исходя из обсуждаемой модели можно утверждать, что реконструкция потенциального рельефа в результате электрохимической обработки должна привести к

уменьшению РВЭ для кристаллов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$   $n$ -типа и увеличению РВЭ для кристаллов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$   $p$ -типа, что хорошо согласуется с экспериментальными данными:

$$\Delta\varphi_n = \varphi_n^{\text{э.п.}} - \varphi_n^0 = 4,35 - 4,82 = -0,47 \text{ эВ}$$

$$\Delta\varphi_p = \varphi_p^{\text{э.п.}} - \varphi_p^0 = 4,00 - 3,72 = +0,28 \text{ эВ}$$

### ЛИТЕРАТУРА

1. Снитко, О.В. Проблемы физики полупроводников / О.В.Снитко, А.В.Саченко, В.Е.Примаченко [и др.] –Киев: Наукова думка, –1981. –331 с.
2. Фоменко В.С. Эмиссионные свойства материалов. Справочник / В.С.Фоменко. –Киев: Наукова думка, –1981. –338 с.
3. Алчагиров Б.Б., Куршев О.И., Таова Т.М., Хоконов Х.Б. ХТФ, – 2006, –т. 76, № 12, –с. 86-88.
4. Ибрагимов, Х.И. Работа выхода электрона в физико-химических исследованиях / Х.И.Ибрагимов, В.А.Корольков. –М.: Интермет Инжиниринг, –2002, –526 с.
5. Бархалов Б.Ш. Дис. докт.физ-мат.н., –Баку, 1991, –с. 61-65.
6. Lang N.D. // Phys. Rev. B, 1970, V. 1, No. 12, P. 4555-4568.
7. Коваленко, В.С. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов / В.С.Коваленко, А.Д.Верхотуров, Л.Ф.Головкин [и др.] –М.: Металлургия, –1986. –С. 126-130.
8. Фотеев, Н.К. / Н.К.Фотеев, А.А.Капырин // Электронная обработка материалов. –1986. №2, –С. 23-25.

### XÜLASƏ

#### $p\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ VƏ $n\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$ YARIMKEÇİRİCİ BƏRK MƏHLULLARINDA ELEKTRONUN ÇIXIŞ İŞİNİN ANDERSON METODU İLƏ TƏDQIQI

Orucov S.K., İsmayilov R.M., İsmaylova X.I.

**Açar sözlər:** çıxış işi, fəza yükü, səth halları, kontakt potensiallar fərqi, elektrokimyəvi aşındırma

Yarımkeçirici  $p\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$  və  $n\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  bərk məhlullarında elektronun çıxış işi Anderson metodu (xarakteristikaların sürüşməsi metodu) ilə tədqiq olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, kristalların səthinin elektrokimyəvi aşındırılması elektronların çıxış işinin dəyişikliyinə gətirir:  $p$ -tip  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$  kristallarında elektronların çıxış işi 0,28 eV artır,  $n$ -tip  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  kristallarında isə elektronların çıxış işi 0,47 eV azalır. Elektronların çıxış işinin qiymətlərindəki belə dəyişikliklər nümunələrin səthində elektrona hərisliyə malik lokal halların konsentrasiyasının dəyişməsi ilə izah olunur.

### SUMMARY

#### STUDY OF ELECTRON WORK FUNCTION IN SEMICONDUCTOR $p\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ AND $n\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$ SOLID SOLUTIONS USING ANDERSON METHOD

Orucov S.K., Ismayilov R.M., Ismaylova Kh.I.

**Key words:** work function, space charge, surface states, contact potential difference, electrochemical etching.

The influence of surface treatment on the electron work function for single crystals of semiconductor  $p\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  and  $n\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  solid solutions has been investigated by the Anderson method (method of characteristics shifting). It was shown that electrochemical etching of the crystal surface leads to a change in the electron work function (EWF): for  $p$ -type  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  crystals, EWF increases by 0.28 eV, and for  $n$ -type  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  crystals, EWF decreases by 0.47 eV. These changes in EWF values are explained by a change in the concentration of local entities on the surface that have affinity to electron.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 25.01.2023 |
|                   | Son variant   | 14.02.2023 |

## GÜNƏBAXAN, QARĞIDALI, PAMBIQ VƏ PALMA YAĞLARI ƏSASINDA SİNTEZ OLUNMUŞ ETANOLAMİDLƏRİN HİDROGEN SULFİD KORROZİYASINA QARŞI İNHİBİTORLUQ XASSƏLƏRİNİN TƏDQIQI

<sup>1</sup>İSMAYILOV İSMAYIL TEYYUB oğlu [ORCID](#)

<sup>2</sup>ƏSƏDOVA SEVDA BƏXTİYAR qızı [ORCID](#)

<sup>3</sup>MUSAYEAVA NURANƏ MUSTAFA qızı [ORCID](#)

<sup>4</sup>İSMAYILOV TEYYUB ALLAHVERDİ oğlu [ORCID](#)

<sup>5</sup>ASLANOVA SƏBAHƏT İMRAN qızı [ORCID](#)

*Y.H. Məmmədəliyev adına Neft Kimya Prosesləri İnstitutu, Bakı, Azərbaycan*

*1-k.e.d., 2,3-b.e.i, 4-dosent,5-texnoloq*

[sevdabedel83@mail.ru](mailto:sevdabedel83@mail.ru)

**Açar sözlər:** *ali karbon turşularının etanolamidləri, hidrogen sulfid korroziyası inhibitorları, monoetanolamin, dietanolamin*

Hidrogen sulfid korroziyasına qarşı inhibitorluq xassələrinin öyrənilməsi məqsədilə günəbaxan, qarğıdalı, pambiq və palma yağlarının mono- və dietanolamin ilə müxtəlif mol nisbətlərində etanolamidləri sintez olunmuş, İQ spektrləri çəkilərək aminoliz prosesinin getməsi təsdiq olunmuşdur. Sintez olunmuş etanolamidlərin H<sub>2</sub>S mühitində korroziyanı inhibitorluq effektivliklərinin xammal kimi götürülmüş yağdan, etanolamindən və onların mol nisbətindən asılı olaraq müqayisəli təhlili aparılmış və müəyyən olunmuşdur ki, qarğıdalı yağı və monoetanolaminin 1:3 mol nisbətində qarşılıqlı təsirindən alınmış etanolamid ən yüksək aktivlik göstərmişdir.

**Giriş.** Sənayedə istifadə edilən metal avadanlıqların, texnoloji qurğuların korroziya səbəbindən sıradan çıxması çox aktual problemlərdəndir. Neft və qazın hasilatı, nəqli və emalı zamanı çox aqressiv texnoloji şərait, həm neftin tərkibində olan, həm də lay suları ilə sistemə daxil olan CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub> və s. qazların [1, 2], eyni zamanda korroziya proseslərinin genişlənməsinə səbəb olan mikroorqanizmlərin mühitdə olması ilə bağlıdır [3]. Mühitdən asılı olaraq paralel bir neçə korroziya prosesləri (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>, bioloji korroziya və s.) baş verə bilər ki, bu da problemin həllini çətinləşdirir [4].

Qeyd etmək lazımdır ki, dünyanın neft və qazçıxartma sənayesinin müasir dövr inkişafı karbohidrogen xammalının istifadəsinin əhəmiyyətli dərəcədə artması fonunda yüngül, az kükürlü neft və qaz kondensatları ehtiyatlarının azalması ilə xarakterizə olunur ki, bu da hidrogen sulfid korroziyasının payını artırır [5].

Bu və digər növ korroziya proseslərini həll etmədən neft quyularının, istifadə olunan avadanlıqların və boru kəmərlərinin normal istismarını təmin etmək mümkün deyil. Buna səbəb bu prosesin iqtisadiyyata və ən əsası ətraf mühitə vurduğu külli miqdarda ziyandır. Belə ki, baş vermiş avariylar nəticəsində xam neftin, eləcə də emal məhsullarının və zəhərli maddələrin su hövzələrinə dağılması və torpaq qatını çirkləndirməsiylə ekoloji gərginlik yaranır [6-8].

Müasir dövrdə korroziya itkilərinin səviyyəsinin aşağı salınmasının ən geniş yayılmış üsullarından biri korroziya inhibitorlarının istifadəsidir. Onların istifadəsi üzrə xeyli praktiki təcrübə əldə olunsada, işçi mühitin korroziya aqressivliyinin müxtəlifliyi reagentlərin seçiminə qarşı yeni tələblər irəli sürür. Buna görə də, əsasən kompleks müdafiə təsirinə malik, yeni inhibitorların və inhibitor xassəli kompozisiyaların axtarışı olduqca mühimdir [9-14].

Ədəbiyyatdan ali karbon turşuları əsasında, xüsusilə onların fərqli azotlu birləşmələrlə qarşılıqlı təsirindən alınmış korroziya inhibitorları – ammonium kompleks duzları, amidləri,

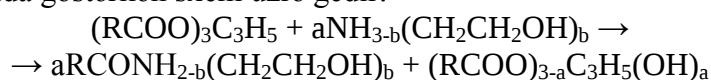
imidazolinləri və s. məlumdur [15-17]. Onlardan imidazolin əsaslı korroziya inhibitorları neft və qaz sənayesində geniş istifadə olunur [18-20]. Eyni zamanda amidlərin alınması, xassələrinin öyrənilməsi və onların tətbiqi istiqamətində də bir çox tədqiqatlar aparılmışdır [21-29]. Müəlliflər məqalədə [30] saxlama zamanı imidazolinlərin hidrolizə uğrayaraq [31] tərkibində amidlərin miqdarının artmasını bildirərək inhibitor kimi imidazolin tərkibli birləşmələrin əvəzinə sintezi bir mərhələli və ucuz başa gələn, uzun müddət saxlama zamanı parçalanmaya davamlı və yaxşı antikorroziya xassələrə malik amid tərkibli birləşmələrin [32, 33] sintez olunmasının daha məqsəduyğun olduğunu təklif edir.

Qeyd olunanları nəzərə alaraq tədqiqatımızın məqsədi sadə birmərhələli alınma üsulu ilə hidrolizə davamlı ali karbon turşularının amidlərinin sintezi və H<sub>2</sub>S mühitində korroziyaya qarşı qabiliyyətlərinin öyrənilməsi olmuşdur.

**Təcrübi hissə.** Günəbaxan, qarğıdalı, pambıq və palma yağlarının monoetanolamin və dietanolaminlə müxtəlif mol nisbətlərində (1:1 – 1:3) qarşılıqlı təsiri nəticəsində etanolamidlər sintez olunmuşdur.

Sintez qarışdırıcı, qızdırıcı və termometrlə təchiz olunmuş kolbaya yerləşdirilmiş lazım olan miqdar bitki yağının 100<sup>0</sup>C-ə qədər qızdırılması, bu temperaturda katalizator kimi NaOH kristalının (yağın kütləsinin 0.1%-i qədər) və hesablanmış miqdar etanolaminin damcı-damcı yağın üzərinə qarışdırılaraq əlavə olunması, daha sonra temperaturu 120-150<sup>0</sup>C-ə qədər qaldıraraq bu temperaturda maddələrin 4-5 saat qarışdırılması və alınan qarışıqın otaq temperaturuna qədər soyudulması ilə aparılmışdır.

Reaksiya aşağıda göstərilən sxem üzrə gedir:



a = 1-3, b = 1-2;

(RCOO)<sub>3</sub>C<sub>3</sub>H<sub>5</sub> – triqliserid, NH<sub>3-b</sub>(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH)<sub>b</sub> – mono- və dietanolamin, RCONH<sub>2-b</sub>(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH)<sub>b</sub> – ali karbon turşusunun mono- və dietanolamidi, (RCOO)<sub>3-a</sub>C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>(OH)<sub>a</sub> – mono- və diqliserid, a=3 olduqda C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>(OH)<sub>3</sub> – qliserin.

İK spektroskopiyaya metodu ilə sintez olunmuş etanolamidlərin tərkibi və quruluşları öyrənilmişdir. İK spektrlər BRUKER firmasına məxsus “ALPHA” İK-FURYE spektrofotometrində 4000-500 sm<sup>-1</sup> spektral aralığında çəkilmişdir. Bu zaman aminoliz prosesinin getdiyini təsdiq edən amid qrupları üçün xarakterik olan C=O, N-H rabitələrinin valent rəqsləri və N-H, C-N rabitələrinin deformasiya rəqsləri müşahidə olunmuşdur.

Günəbaxan, qarğıdalı, pambıq və palma yağları əsasında sintez olunmuş etanolamidlərin kerosin:izopropil spirti qarışığında (1:1 həcm nisbəti) 10%-li məhlulları H<sub>2</sub>S mühitində korroziya inhibitoru kimi tədqiq olunmuşdur. Hidrogen sulfid korroziyasından müdafiə qabiliyyətinin yoxlanılması metodikası ədəbiyyatda geniş verilmişdir.

Sintez olunmuş etanolamidlərin H<sub>2</sub>S korroziyasına qarşı effektivliklərini öyrənmək məqsədi ilə hesablanmış miqdar Na<sub>2</sub>S-in üzərinə hissə-hissə HCl məhlulu əlavə olunur, ayrılan qaz mühitə verilərək H<sub>2</sub>S ilə doydurulur (500 mq/l H<sub>2</sub>S) və H<sub>2</sub>S ilə doydurulmuş su:kerosin (9:1 həcm nisbəti) mühitinə etanolamidlər lazımı qədər əlavə olunaraq otaq temperaturunda maqnit qarışdırıcının köməyi ilə dinamik şəraitdə 5 saat müddətində metal lövhələr üzərində təcrübələr aparılır. Təcrübə zamanı eyni mühitdə iki lövhə (30x20x2 mm) yoxlanılır.

Metal lövhələrdə baş vermiş kütlə itkisi Δm=m<sub>2</sub>-m<sub>1</sub> (0.001q dəqiqliklə) təyin olunur. Bu zaman m<sub>1</sub>- lövhənin təcrübədən əvvəlki kütləsi, m<sub>2</sub>- lövhənin təcrübədən sonrakı kütləsidir (m<sub>1</sub> və m<sub>2</sub> üçün iki lövhəyə görə orta qiymət götürülür).

Daha sonra maddələr əlavə edilmədən (K<sub>0</sub>) və əlavə edildikdən sonra (K<sub>inh</sub>) korroziyanın sürəti K=Δm/(S\*t) (K: korroziyanın sürəti - q/(m<sup>2</sup>\*saat), Δm: kütlə itkisi - q, S: lövhənin səthinin həcmi - m<sup>2</sup>, t: təcrübənin müddəti - saat) düsturu ilə hesablanır.

*Günəbaxan, qarğıdalı, pambıq və palma yağları əsasında sintez olunmuş etanolamidlərin hidrogen sulfid korroziyasına qarşı inhibitorluq xassələrinin tədqiqi*

İnhibitor əlavə edilmədən gedən korroziyanın sürəti  $K_0=3.6 \text{ q/m}^2\text{saat}$  olmuşdur. Maddələrin  $\text{H}_2\text{S}$  korroziyasına qarşı effektivlikləri inhibitorluq əmsalı –  $\gamma=K_0/K_{\text{inh}}$  və müdafiə dərəcəsi (effektivliyi)  $Z=((K_0-K_{\text{inh}})/K_0)*100\%$  ilə qiymətləndirilmişdir.

Təcrübələr sintez olunmuş etanolamidlərin 100 və 400mq/l qatılıqlarında aparılmış, nəticələr aşağıdakı cədvəllərdə verilmişdir.

**Cədvəl 1.**

*Sintez olunmuş monoetanolamidlərin  $\text{H}_2\text{S}$  mühitində korroziya inhibitoru kimi qatılıqdan asılı olaraq effektivlikləri*

|                                                                               | Qatılıq, mq/l | Korroziyanın sürəti, q/(m <sup>2</sup> *saat) | İnhibitorluq əmsalı | Müdafiə effekti, % |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------|---------------------|--------------------|
| <b>Günəbaxan yağı və monoetanolamin əsasında sintez olunmuş etanolamidlər</b> |               |                                               |                     |                    |
| (1:1)                                                                         | 100           | 2.4660                                        | 1.5                 | 31.5               |
|                                                                               | 400           | 1.1268                                        | 3.2                 | 68.7               |
| (1:2)                                                                         | 100           | 2.4408                                        | 1.5                 | 32.2               |
|                                                                               | 400           | 1.0044                                        | 3.6                 | 72.1               |
| (1:3)                                                                         | 100           | 2.3472                                        | 1.5                 | 34.8               |
|                                                                               | 400           | 0.7704                                        | 4.7                 | 78.6               |
| <b>Qarğıdalı yağı və monoetanolamin əsasında sintez olunmuş etanolamidlər</b> |               |                                               |                     |                    |
| (1:1)                                                                         | 100           | 2.2212                                        | 1.6                 | 38.3               |
|                                                                               | 400           | 0.8712                                        | 4.1                 | 75.8               |
| (1:2)                                                                         | 100           | 2.1096                                        | 1.7                 | 41.4               |
|                                                                               | 400           | 0.6624                                        | 5.4                 | 81.6               |
| (1:3)                                                                         | 100           | 2.0304                                        | 1.8                 | 43.6               |
|                                                                               | 400           | 0.5256                                        | 6.8                 | 85.4               |
| <b>Pambıq yağı və monoetanolamin əsasında sintez olunmuş etanolamidlər</b>    |               |                                               |                     |                    |
| (1:1)                                                                         | 100           | 2.5524                                        | 1.4                 | 29.1               |
|                                                                               | 400           | 1.2600                                        | 2.9                 | 65.0               |
| (1:2)                                                                         | 100           | 2.5056                                        | 1.4                 | 30.4               |
|                                                                               | 400           | 1.1412                                        | 3.2                 | 68.3               |
| (1:3)                                                                         | 100           | 2.4408                                        | 1.5                 | 32.2               |
|                                                                               | 400           | 0.9324                                        | 3.9                 | 74.1               |
| <b>Pambıq yağı və monoetanolamin əsasında sintez olunmuş etanolamidlər</b>    |               |                                               |                     |                    |
| (1:1)                                                                         | 100           | 2.5956                                        | 1.4                 | 27.9               |
|                                                                               | 400           | 1.3248                                        | 2.7                 | 63.2               |
| (1:2)                                                                         | 100           | 2.5452                                        | 1.4                 | 29.3               |
|                                                                               | 400           | 1.2348                                        | 2.9                 | 65.7               |
| (1:3)                                                                         | 100           | 2.4804                                        | 1.5                 | 31.1               |
|                                                                               | 400           | 0.9792                                        | 3.7                 | 72.8               |

**Cədvəl 2.**

*Sintez olunmuş dietanolamidlərin  $\text{H}_2\text{S}$  mühitində korroziya inhibitoru kimi qatılıqdan asılı olaraq effektivlikləri*

|                                                                             | Qatılıq, mq/l | Korroziyanın sürəti, q/(m <sup>2</sup> *saat) | İnhibitorluq əmsalı | Müdafiə effekti, % |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------|---------------------|--------------------|
| <b>1</b>                                                                    | <b>2</b>      | <b>3</b>                                      | <b>4</b>            | <b>5</b>           |
| <b>Günəbaxan yağı və dietanolamin əsasında sintez olunmuş etanolamidlər</b> |               |                                               |                     |                    |
| (1:1)                                                                       | 100           | 2.4840                                        | 1.4                 | 31.0               |
|                                                                             | 400           | 1.2060                                        | 3.0                 | 66.5               |

**Cədvəl 2. (davamı)**

| 1                                                                    | 2   | 3      | 4   | 5    |
|----------------------------------------------------------------------|-----|--------|-----|------|
| (1:2)                                                                | 100 | 2.5272 | 1.4 | 29.8 |
|                                                                      | 400 | 1.0728 | 3.4 | 70.2 |
| (1:3)                                                                | 100 | 2.3976 | 1.5 | 33.4 |
|                                                                      | 400 | 0.8892 | 4.0 | 75.3 |
| Qarğıdalı yağı və dietanolamin əsasında sintez olunmuş etanolamidlər |     |        |     |      |
| (1:1)                                                                | 100 | 2.5452 | 1.4 | 29.3 |
|                                                                      | 400 | 1.2780 | 2.8 | 64.5 |
| (1:2)                                                                | 100 | 2.4768 | 1.5 | 31.2 |
|                                                                      | 400 | 1.1376 | 3.2 | 68.4 |
| (1:3)                                                                | 100 | 2.4444 | 1.5 | 32.1 |
|                                                                      | 400 | 0.9504 | 3.8 | 73.6 |
| Pambıq yağı və dietanolamin əsasında sintez olunmuş etanolamidlər    |     |        |     |      |
| (1:1)                                                                | 100 | 2.6064 | 1.4 | 27.6 |
|                                                                      | 400 | 1.3176 | 2.7 | 63.4 |
| (1:2)                                                                | 100 | 2.4984 | 1.4 | 30.6 |
|                                                                      | 400 | 1.1628 | 3.1 | 67.7 |
| (1:3)                                                                | 100 | 2.4480 | 1.5 | 32.0 |
|                                                                      | 400 | 0.9864 | 3.6 | 72.6 |
| Pambıq yağı və dietanolamin əsasında sintez olunmuş etanolamidlər    |     |        |     |      |
| (1:1)                                                                | 100 | 2.6712 | 1.3 | 25.8 |
|                                                                      | 400 | 1.4148 | 2.5 | 60.7 |
| (1:2)                                                                | 100 | 2.6064 | 1.4 | 27.6 |
|                                                                      | 400 | 1.2636 | 2.8 | 64.9 |
| (1:3)                                                                | 100 | 2.5344 | 1.4 | 29.6 |
|                                                                      | 400 | 1.1016 | 3.3 | 69.4 |

Cədvəldə verilmiş nəticələrdən göründüyü kimi, sintez edilmiş etanolamidlərdən polad lövhəni  $H_2S$  korroziyasına qarşı ən yüksək müdafiə effektivliyinə qarğıdalı yağı və monoetanolamin əsasında 1:3 mol nisbətində alınmış etanolamid malikdir. Ümumiyyətlə əsasında sintez etdiyimiz yağlar üçün 1:3 mol nisbətində alınmış etanolamidlər 1:2 və 1:1 mol nisbətində alınmış etanolamidlərlə müqayisədə yüksək nəticə göstərmiş, ardıcılıq isə  $1:3 > 1:2 > 1:1$  kimi olmuşdur.

Eyni zamanda, müəyyən olunmuşdur ki, bütün mol nisbətlərində yağ il monoetanolaminin qarşılıqlı təsirindən alınan etanolamidlər, müvafiq yağ ilə dietanolaminin qarşılıqlı təsirdən alınan etanolamidlərdən, onlardan isə qarğıdalı yağı və monoetanolamin əsasında sintez olunmuş etanolamidlər digər yağlar və monoetanolamin əsasında sintez olunmuş etanolamidlərdən daha effektiv  $H_2S$  korroziya inhibitorlarıdır.

Belə ki, monoetanolamin ilə sintez olunmuş etanolamidlərin  $H_2S$  korroziya inhibitorları kimi xammala görə effektivliklərini müqayisə etsək ardıcılıq:

qarğıdalı yağı > günəbaxan yağı > pambıq yağı > palma yağı şəklində olacaq.

Dietanolamin ilə sintez olunmuş etanolamidlərin  $H_2S$  korroziya inhibitorları kimi xammala görə effektivlikləri fərqli olaraq:

günəbaxan yağı > qarğıdalı yağı > pambıq yağı > palma yağı şəklindədir.

Qeyd etmək lazımdır ki, bu zaman günəbaxan və qarğıdalı yağlarının dietanolaminlə qarşılıqlı təsirindən alınan etanolamidlərin  $H_2S$  korroziya inhibitorları kimi müdafiə effektivliklərindəki fərq 2%-dən çox deyil.

**Nəticə.** Günəbaxan, qarğıdalı, pambıq və palma yağlarının mono- və dietanolamin ilə müxtəlif mol nisbətlərində etanolamidləri sintez olunmuş, İQ spektrləri çəkilərək quruluşları araşdırılmış, kerosin:izopropil spirti qarışığında (1:1 həcm nisbəti) 10%-li məhlulları hazırlanaraq 100 və 400 mq/l qatılıqlarda hidrogen sulfid mühitində korroziya inhibitoru kimi tədqiqatları aparılmışdır.

Müəyyən edilmişdir ki, синтез olunmuş etanolamidлэрдən H<sub>2</sub>S korroziyasına qarşı ən effektiv inhibitor qarğıdalı yağı vэ monoetanolaminin 1:3 mol nisbətində qarşılıqlı təsirindən alınmış etanolamid olmuşdur.

Синтез olunmuş etanolamidлэрин H<sub>2</sub>S mühitində korroziya inhibitoru kimi effektivliklərinin xammal kimi götürülmüş yağdan, amindən vэ onların mol nisbətlərindən asılı olaraq müqayisəli təhlili zamanı məlum olmuşdur ki, aktivlikləri aşağıdakı kimidir:

monoetanolamidлэр üçün –

qarğıdalı yağı > гүнэбaxан yağı > памбіғ yağı > palma yağı

dietanolamidлэр üçün –

гүнэбaxан yağı > qarğıdalı yağı > памбіғ yağı > palma yağı

bütün yağlar üçün – MEA>DEA vэ 1:3>1:2>1:1

### ƏDƏBİYYAT

1. Sylvester O.N., Celestine O.N., Reuben I.G., Okechukwu C.E. Review of corrosion kinetics and thermodynamics of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S corrosion effects and associated prediction/evaluation on oil and gas pipeline system // International Journal of Scientific & Technology Research, –2012, V. 1(4), –pp. 156-162
2. Dubinskaya, E.V. İnqibitornaya zaşıta stali v serovodorodnix sredax / E.V.Dubinskaya, V.İ.Viqdoroviç, L.E.Çıqankova // Vestnik TQU, –2013, T. 18(5), –s. 2814-2822
3. Popoola, L.T. Corrosion problems during oil and gas production and its mitigation / L.T.Popoola, A.S.Grema, G.K.Latinwo [et al.] // International Journal of Industrial Chemistry, – 2013, V. 4, –pp. 1-15
4. Лященко, А.В. Опыт защиты от коррозии скважин при добыче углеводородной продукции с высоким содержанием сероводорода и диоксида углерода аучно-технический сборник / А.В.Лященко, Р.А.Жирнов, Д.В.Изюмченко // «Вести газовой науки». –2013, № 4(15), –с. 28-35
5. Либерман, Н.П. Выявление и устранение проблем в нефтепереработке. Практическое руководство / Перевод с англ. под ред. Глаголевой О.Ф. –СПб.: Профессия, –2014, –528 с.
6. Ангал, Р. Коррозия и защита от коррозии / Р.Ангал. –Долгопрудный: Интеллект, –2013, –344 с.
7. Аббасов, В.М. Реагенты и продукты для нефтяной, газовой, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / В.М.Аббасов, Л.И.Алиева, Е.Ш.Абдуллаев [и др.] – Баку: Елм, –2017. –436 с.
8. Hany M. Abd El-Lateef, Abbasov V.M., Aliyeva L.I., Qasimov E.E., Ismayilov I.T. Inhibition of carbon steel corrosion in CO<sub>2</sub>-saturated brine using some newly surfactants based on palm oil: Experimental and theoretical investigations // Materials Chemistry and Physics, –2013, 142(2-3), –pp. 502-512.
9. Hany M. Abd El-Lateef, Abbasov V.M., Aliyeva L.I., Ismayilov I.T. Application of Some Surfactants Based on Corn Oil as Corrosion Inhibitors for Carbon Steel in CO<sub>2</sub> Environments // NACE International, Corrosion 2013 Conference & Expo, –2013, No. 2129, –pp. 1-10.
10. Рзаева Н.Ш., Аббасов В.М., Мурсалов Н.И., Алиева Л.И., Талыбов А.Г., Исмаилов И.Т., Гулиев А.А., Ахмедов Н.С. Композиционные ингибирующие составы имидазолина и аминных комплексов сульфопроизводной олеиновой кислоты // Практика противокоррозионной защиты. –2016, № 1 (79), –с. 43-46.
11. Jevremovic, I. Inhibition properties of self-assembled corrosion inhibitor talloil diethylenetriamine imidazoline for mild steel corrosion in chloride solution saturated with carbon dioxide / I.Jevremovic, M.Singer, S.Nesic [et al.] // Corrosion Science, –2013. Vol. 77. –pp. 265-272.
12. Бондарева С.О. Синтез амидов неodeкановой кислоты и изучение их в качестве ингибиторов коррозии низкоуглеродистой стали в солянокислых растворах / С.О.Бондарева, Т.Р.Нигуманов, Я.И.Муринов // Вестник Бакинского университета, –2020, Т. 25(№1), –с. 66-72.
13. Карпеева И.Е. Синтез амидов жирных кислот подсолнечного масла / И.Е.Карпеева, А.В.Зорина, Х.С.Шихалиев // Вестник ВГУ, серия: химия, биология, фармация, –2013, № 2, –с.39-41.

14. Adewuyi A., Oderinde R., Rao B., Prasad R. Synthesis of alkanolamide: a nonionic surfactant from the oil of gliricidia sepium // Journal of Surfactants and Detergents, 2012, V. 15, Pp. 89-96.
15. Способ получения амидов жирных кислот: пат. Рос. фед. №2 559 575 с 1; заявл. 29.06.2015; опубл. 10.10.2016, Бюл. №28.
16. Abbasov V.M. Anti-corrosive activities of some novel surfactants based on vegetable oils / V.M.Abbasov, I.T.Ismayilov, Hany M. Abd El-Lateef [et al.] / European chemical Bulletin, – 2014, 3(5), –р. 437-440.
17. Исмаилов И.Т. Антикоррозионные реагенты комплексного действия на основе солей сульфат производных высших карбоновых кислот, выделенных из пальмового масла // Процессы нефтехимии и нефтепереработки, –2015, Т. 16, № 3 (63), –с. 201-218
18. Ismayilov I.T. Synthesis and properties of the multifunctional anticorrosive reagents on the basis of sunflower oil and ethanolamines // Processes of Petrochemistry and Oil-refining, –2016, Vol. 17, No. 4, –pp.331-345.
19. Vazquez-Velez E. Use of fatty amide and anionic surfactant as corrosion inhibitors for carbon steel in different atmospheres / E.Vazquez-Velez, J.G.Gonzalez-Rodriguez, M.E.Escalante-Perez, [et al.] // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, –2019, Vol. 8, No. 1, – pp. 123–138.
20. Abbasov, V.M., Aliyeva, L.I., Abd El-Lateef, H.M., Ismayilov, I.T. Some surfactants based on the vegetable oils as CO<sub>2</sub> corrosion inhibitors for mild steel in oilfield formation water // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, –2015, V. 4(2), –pp. 162–175.

#### **РЕЗЮМЕ**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИНГИБИРОВАНИЯ СЕРОВОДОРОДНОЙ КОРРОЗИИ ЭТАНОЛАМИДОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ПОДСОЛНЕЧНОГО, КУКУРУЗНОГО, ХЛОПКОВОГО И ПАЛЬМОВОГО МАСЕЛ**

*Исмаилов И.Т., Асадова С.Б., Мусаева Н.М., Исмаилов Т.А., Асланова С.И.*

**Ключевые слова:** *этаноламиды высших карбоновых кислот, ингибиторы сероводородной коррозии, моноэтаноламин, диэтаноламин*

Синтезированы этаноламиды на основе подсолнечного, кукурузного, хлопкового, пальмового масел и этаноламинов (моно- и диэтаноламин) в разных мольных соотношениях с целью исследования их ингибирующих свойств против сероводородной коррозии, сняты ИК спектры синтезированных этаноламидов и подтверждено проведение процесса аминолита. На основе сравнительного анализа ингибирующей эффективности коррозии в среде H<sub>2</sub>S синтезированных этаноламидов в зависимости от исходного сырья – масла, этаноламина и их мольного соотношения установлено, что этаноламид, синтезированный взаимодействием хлопкового масла и моноэтанолamina в мольном соотношении 1:3, проявляет самую высокую активность.

#### **SUMMARY**

#### **STUDY OF INHIBITION OF HYDROGEN SULPHIDE CORROSION OF ETHANOLAMIDES SYNTHETIZED ON THE BASIS OF SUNFLOWER, CORN, COTTON AND PALM OILS**

*İsmailov İ.T., Asadova S.B., Musaeva N.M., İsmailov T.A., Aslanova S.İ.*

**Keywords:** *ethanolamides of higher carboxylic acids, hydrogen sulfide corrosion inhibitors, monoethanolamine, diethanolamine*

Ethanolamides based on sunflower, corn, cottonseed, palm oils and ethanolamines (mono- and diethanolamine) in different molar ratios were synthesized in order to study their inhibitory properties against hydrogen sulfide corrosion, IR spectra of the synthesized ethanolamides were taken, and the aminolysis process was confirmed. Based on a comparative analysis of the inhibitory effectiveness of corrosion in the H<sub>2</sub>S environment of synthesized ethanolamides, depending on the feedstock - oil, ethanolamine and their molar ratio, it was found that ethanolamide synthesized by the interaction of cottonseed oil and monoethanolamine in a molar ratio of 1:3 exhibits the highest activity.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 20.12.2022 |
|                   | Son variant   | 30.01.2023 |

## POLI-ε-KAPROLKTON ƏSASLI DAŞIYICIYA İMMOBİLİZƏ OLUNMUŞ DOKSORUBİSİNİN MÜHİTƏ AYRILMASININ KİNETİK MODELƏRDƏ TƏDQIQI

<sup>1</sup>TAPDIQOV ŞAMO ZÖHRAB oğlu [ORCID](#)

<sup>2</sup>MUSTAFAYEV MUSA Musa oğlu [ORCID](#)

<sup>3</sup>ƏHMƏDOVA İNARƏ MƏSUD qızı [ORSID](#)

<sup>1</sup>SOCAR, Neftqazelnəqliyyat Layihə İnstitutu, Bakı, Azərbaycan, k.f.d., dosent

<sup>2</sup>Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, k.e.n., dosent

<sup>3</sup>Marmara Universiteti, Yer və Tətbiqi Elmlər Lisanüstü araşdırmalar İnstitutu, magistr  
[shamo.chem.az@gmail.com](mailto:shamo.chem.az@gmail.com) [musa.mustafayev.1962@mail.ru](mailto:musa.mustafayev.1962@mail.ru)

*Açar sözlər:* poli-ε-kaprolakton, doksorubisin, immobilizə, ayrılma, riyazi model.

Bioloji aktiv maddələrin (BAB) klassik formada qəbulu qanda uzun müddət terapevtik-müalicə effekti yarada bilmir. Ümumiyyətlə, hər bir dərman preparatı üçün müalicə təsiri göstərən müəyyən qatılıq həddi mövcuddur [1]. BAB-ın qanda miqdarı həmin qatılıqdan aşağı həddə olduqda müalicə effekti yarada bilmir, yuxarı həddə olduqda isə əks təsir göstərir. Qəbul edilən preparatın müəyyən zaman müddətində qanda qatılığı elə tənzimlənməlidir ki, o terapevtik təsir sahəsinə düşə bilsin və müalicə effekti göstərsin [2]. Bir dəfə yüksək dozada qəbul edilən dərmanın qatılığı terapevtik həddi keçir və toksiki təsir göstərməklə bir müddət sonra onun qatılığı kəskin aşağı düşür. Təkrar bir neçə gün ərzində qəbul edilən dərmanın miqdarı terapevtik zonaya düşsə də onun qatılığı spontan olmayıb, artma-azalma kimi davam edir. Polimer maddələrə immobilizə olunmuş dərman maddələrinin mühitə ayrılması ilə qatılıqları müəyyən vaxt intervalında terapevtik həddə olub eyni miqdar tərtibində qala bilər. Bu müalicə təsirinin daha mükəmməl və effektiv olmasına gətirib çıxarır [3].

Belə polimerlər arasında poli-ε-kaprolakton (PKL) alifatik poliefir olub, dərman maddələrinin daşınması və nəzarətli ayrılması üçün tibbdə geniş istifadə olunur. Onun unikal fiziki, kimyəvi, mexaniki xassələri, biouyğunluğu və biodegradasiya oluna bilməsi dərman daşınması, toxuma mühəndisliyi, tibbi materiallar və əczaçılıqda istifadəsini təmin edir. Zəif degradasiya qabiliyyəti dərman maddələrinin uzunmüddətli ayrılmasını asanlaşdırır və hətta modifikasiya etməklə aylarla, illərlə olmasına səbəb olur [4]. Bu polimerin biouyğunluğu matris boyunca çoxlu sayda dərman molekulalarının vahid paylanmasına imkan verir [5]. PKL kiçik molekullu dərman maddələri üçün yüksək keçiricilik qabiliyyətinə malikdir və bioresorbsiya edildikdən sonra bədənə tam xaric edilə bilər [6], degradasiya zamanı isə çox zəif turş mühit yaradır ki, bu da zərərli deyildir.

Qeyd olunanları nəzərə alaraq, tərəfimizdən aşağı orta molekullu kütləli PKL sintez edildikdən sonra onun əsasında nanokapsulun hazırlanması tədqiqatları aparılmış və model preparat kimi doksorubisin (Doks) antibiotikindən istifadə edilərək enkapsullaşdırılma effektivliyi, dərman yüklənməsi və ayrılması kinetik olaraq öyrənilmişdir. Nanokapsulun hazırlanması zamanı əsas kütlə kimi PKL-dən, kapsulun adgeziya və davamlılığını artırmaq üçün isə orta molekullu kütləsi 10 kDa olan poli-N-vinilpirrolidon (PVPr) və 4000 Da olan polietilenqlikoldan (PEQ) istifadə edilmişdir. PKL-Doks nanokapsulun hazırlanması ikiqat emulsiya metodu ilə yerinə yetirilmişdir. Belə ki, 1.5 ml 2 mq/ml Doks məhlulu və 10 mq PKL 80 ml dioxlometana əlavə edib emulsiyalaşdırılır. Emulsiyalaşdırma yüksək sürətli homogenləşdirici qurğuda 3 dəqiqə müddətində 5000 rpm-də aparılır. Sonra emulsiya 35 ml 2%-li PVPr və 5 ml 0.5%-li PEQ qarışığına əlavə edilir

və 5 dəqiqə 8000 rpm-də homogenləşdirilir. Sonra bütün qarışıq 24 saat fasiləsiz qaranlıq şəraitdə maqnit qarışdırıcıda qarışdırılır. Bir gündən sonra qarışıq həlledicidən buxarlandırılmaqla azad edilib 10 °C-də 1 saat müddətində 13000 rpm-də sentrifüqalaşdırılır. Məhsul dekantasiya olunduqdan sonra 2 ml deionlaşmış suda həll edilib 2 gün ərzində vakkumda (freeze-dry) qurudulur. Alınan nanokapsul sonrakı tədqiqatlar üçün 4 °C temperatur şəraitində saxlanılır. Nanokapsulun Doks-nə görə enkapsullaşdırma effektivliyi aşağıdakı ifadəyə əsasən təyin edilir:

$$EE_{\%} = 1 - \frac{C_x}{C_{ilk}} \times 100$$

Burada  $C_x$  nanokapsulu ayırdıqdan sonra antibiotikin qalan qatılığı, mq/ml ilə,  $C_{ilk}$  isə Doks-nin götürülən ilkin qatılığıdır. Enkapsullaşdırma effektivliyi müəyyən edildikdən sonra nanokapsula dərman yüklənməsi ( $DY_{\%}$ ) hesablanmışdır:

$$DY_{\%} = \frac{m_{antib} \times EE}{m_{antib} + m_{polimer}}$$

Burada,  $m_{antib}$  – mühitdə antibiotikin ümumi miqdarı, mq ilə;  $m_{polimer}$  - isə nanokapsulun ümumi kütləsidir, mq.

Doks-nin xərcəng hüceyrələrinə qarşı istifadə olunan antibiotik olduğundan nanokapsuldan ayrılması iki tip hüceyrə pH-na uyğun mühitlərdə tədqiq olunmuşdur. pH 4.8-də xərcəng hüceyrələrinə xas və pH 7.4-də sağlam insan orqanizmi hüceyrəsinə xarakterik mühitdə. Bu məqsədlə 1 mq nanokapsul PKL-Doks (tərkibində 0.157 mq antibiotik saxlayır) 5 ml uyğun pH buferində 37 °C temperatur qorunmaqla yerləşdirilir və 100 rpm-də inkubasiya olunur. 0.5-72 saat intervallarında mühitdən 500 µL alikvot götürüb məhlulun 480 nm-də optiki sıxlığı ölçülmüş və həmin absorbsiya qiymətinə uyğun antibiotik qatılığı müəyyən edilmişdir. Alikvot götürüldükdən sonra mühitin həcmi və ordakı komponentlərin qatılığının dəyişilməməsi üçün yenidən təmiz 500 µL deionlaşmış su əlavə edilmişdir. Nanokapsuldan Doks-nin ayrılması (%-lə) aşağıdakı ifadəyə əsasən hesablanmışdır:

$$Ayr_{\%} = \frac{m_x}{m_0} \times 100$$

Burada,  $m_x$  və  $m_0$  uyğun olaraq Doks-nin nanokapsuldan mühitə ayrılan və ilkin miqdarıdır, mq ilə.

İmmobilizasiyadan sonra antibiotikin qatılığının 2 mq/ml-dən 0.564 mq/ml-ə qədər azalması müşahidə edilmişdir. Göstərilən halda nanokapsulun polimerlərlə və antibiotiklə birlikdə kütləsi 13.725 mq olmuşdur ki, bunun da 2.154 mq-ı doksorubisinin qalanı isə nanokapsulun payına düşür. Öldə edilmiş nanokapsulun antibiotikə görə enkapsullaşdırma effektivliyi yüksək olmuş və 71.8% təşkil etmişdir. Dərman yüklənməsi isə 15.69% olur və bu o deməkdir ki, 1 mq nanokapsul təxminən 0.157 mq Doks saxlaya bilər. Mühitin pH-nın 4.8 və 7.4 qiymətlərində zamandan asılı olaraq Doks-nin ayrılması öyrənilmiş və nəticələr aşağıdakı cədvəldə verilmişdir:

**Cədvəl 1.**

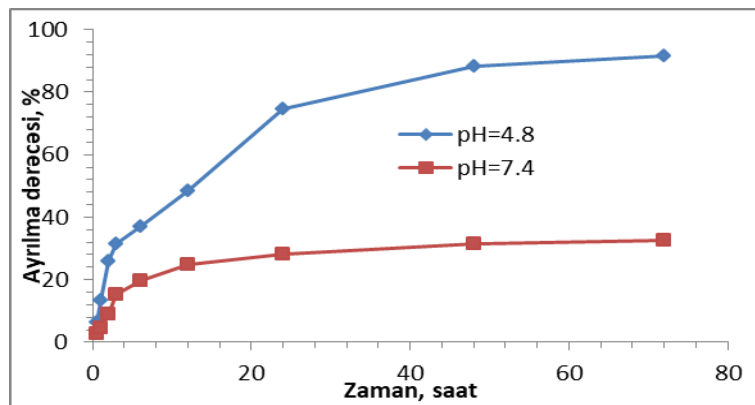
*PKL-Doks əsaslı nanokapsuldan antibiotikin ayrılmasının müxtəlif pH-da zamandan asılılıq qiymətləri. T=37 °C, V=5 ml,  $m_{kaps-Doks}=13.725$  mq*

| Zaman, saat | pH=4.8             |                |                 | pH=7.4             |                |                 |
|-------------|--------------------|----------------|-----------------|--------------------|----------------|-----------------|
|             | $C_{ayr}$ , mkm/ml | $m_{ayr}$ , mq | Ayrıma faizi, % | $C_{ayr}$ , mkm/ml | $m_{ayr}$ , mq | Ayrıma faizi, % |
| 1           | 2                  | 3              | 4               | 5                  | 6              | 7               |
| 0.5         | 7.34               | 0.011          | 6.51            | 2.67               | 0.004          | 2.78            |
| 1.0         | 14.0               | 0.021          | 13.25           | 4.66               | 0.007          | 4.56            |
| 2.0         | 27.34              | 0.041          | 25.84           | 9.34               | 0.014          | 9.15            |
| 3.0         | 32.67              | 0.049          | 31.43           | 16.0               | 0.024          | 15.43           |

**Cədvəl 1. (davamı)**

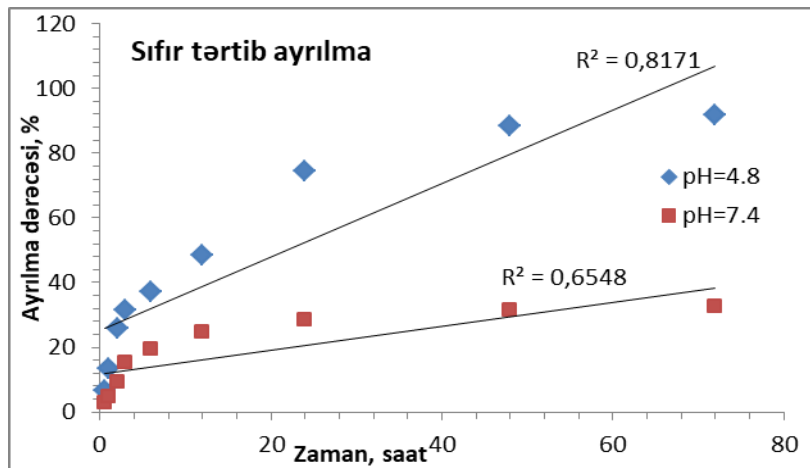
| 1  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6  | 38.66 | 0.058 | 37.17 | 20.68 | 0.031 | 19.51 |
| 12 | 50.00 | 0.075 | 48.26 | 25.34 | 0.038 | 24.84 |
| 24 | 78.00 | 0.117 | 74.56 | 30.00 | 0.045 | 28.31 |
| 48 | 92.00 | 0.138 | 88.34 | 32.67 | 0.049 | 31.48 |
| 72 | 96.00 | 0.144 | 91.73 | 34.00 | 0.051 | 32.63 |

Göründüyü kimi, PKL əsaslı nanokapsuldan antibiotikin ayrılması mühitdən asılı olaraq fərqli xarakterdə baş verir. Mühit nisbətən zəif turş olduqda ayrılma 12 saat ərzində 50%, 24 saatdan sonra sabitləşərək 90% ətrafında olur. Neytral mühitdə isə ayrılma kiçik qiymətlərlə müşahidə olunur və 72 saat müddətində immobilizə olunan Doks-nin yalnız 32%-i mühitə ayrıla bilər. Ayrılmanın qrafiki təsvirinə baxdıqda (Şəkil 1) bunu aydın görmək olar.



**Şəkil 1.** PKL əsaslı nanokapsuldan Doks-nin ayrılmasının zamandan asılılığı, 37 °C.

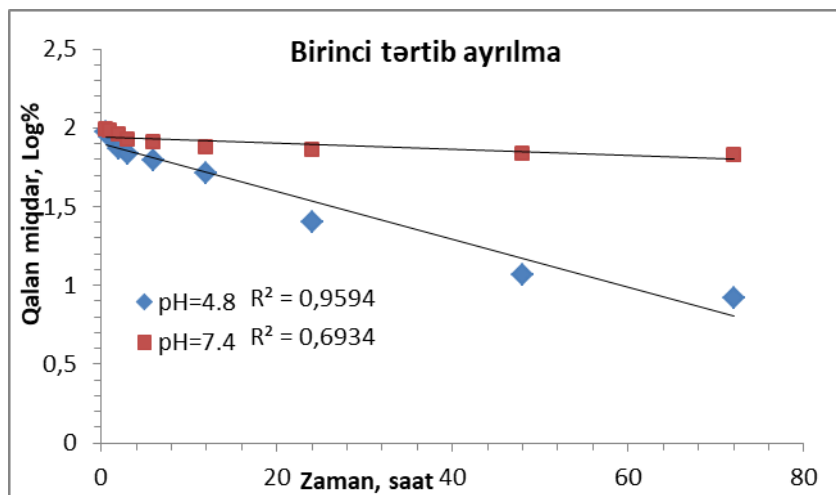
Şəkildən göründüyü kimi hər iki mühitdə ilkin 4 saat müddətində ayrılma sıçrayışlı olub zamanla düz mütənəssibdir. pH=4.8-də ayrılmanın tarazlıq halı 20 saatdan sonraya, pH=7.4-də isə 10-12 saatdan sonraya təsadüf edir. Əyrilərin formasına baxsaq həm diffuziyalı, həm də hidrogel sistemləri üçün xarakterik olan ayrılmanın baş verdiyini görə bilərik. Daha dəqiq mexanizm müəyyən etmək üçün kinetik nəticələr sıfır və birinci tərtib, Hiçuqi, Kosmeyer-Peppas və Hikson-Krovell tənliklərinə tətbiq edilmiş və korrelyasiya əmsalları müqayisə edilmişdir.



**Şəkil 2.** PKL nanokapsulundan Doks-nin ayrılmasının sıfır tərtib kinetik modeli

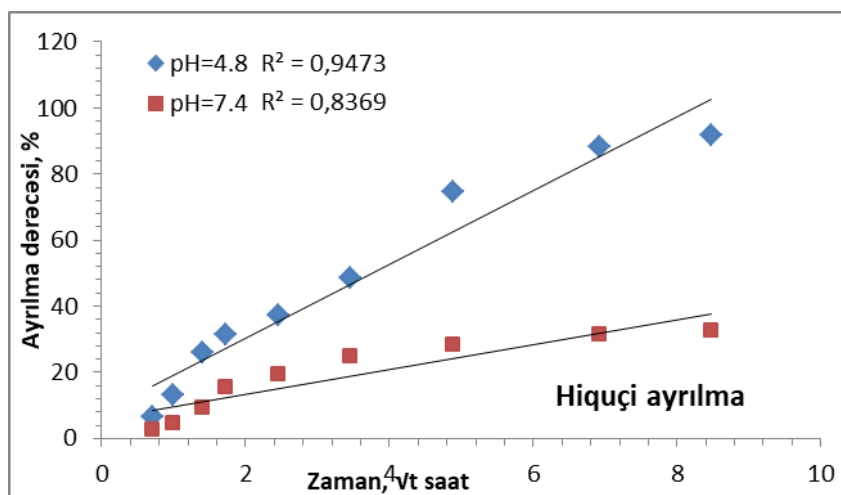
Göründüyü kimi, pH=4.8-də antibiotikin ayrılması nisbətən  $R^2=0.8171$  qiymətilə diffuziyalı ayrılmaya uyğun gəlir. Neytral mühitdə isə bu model özünü doğrultmur. Sıfır tərtibli ayrılma

müxanizminə görə dərman maddəsinin ayrılması onun mühitdəki qatılığından asılı olmayaraq, sərbəstdir. Bu tipli ayrılmaya örtüklü formalarda, osmotik sistemlərdə və transdermal tətbiqlərdə rast gəlinir və istifadə olunur. Birinci tərtibli ayrılma mexanizmi isə heç bir halda tədqiq etdiyimiz sistemə uyğun gəlmir (Şəkil 3).

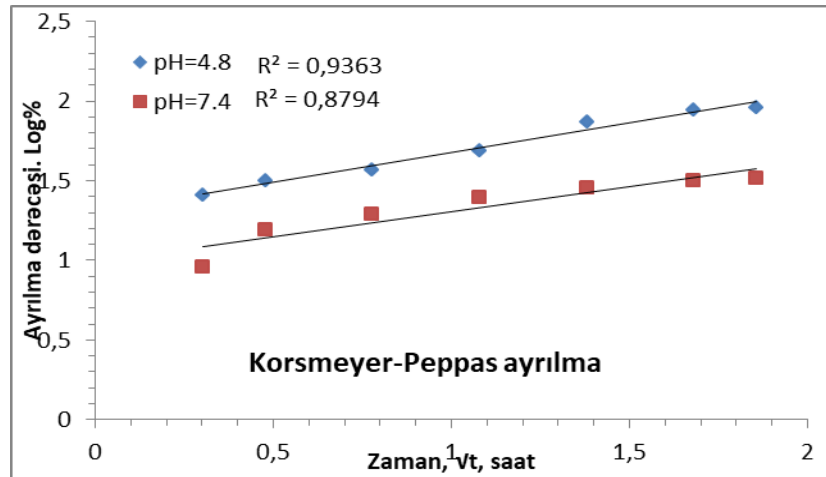


Şəkil 3. PKL nanokapsulundan Doks.-nin ayrılmasının birinci tərtib kinetik modeli

Birinci tərtib ayrılmaya görə suda həll olan dərmanların məsaməli matrisalardan mühitə ayrılması dərəcəsi dərmanın qatılığından asılıdır. Tədqiq olunan PKL nanokapsulunda isə məsaməli matrisa strukturu olmadığından və həmçinin  $R^2$ -nin qiymətlərinin 0.55-dən kiçik olması ayrılmanın bu mexanizmə uyğun gəlmədiyini deməyə əsas verir. Ayrılmanın miqdarı nəticələri həmçinin digər kinetik modellərdə də yoxlanılmış və aşağıdakı şəkillərdə verilmişdir.



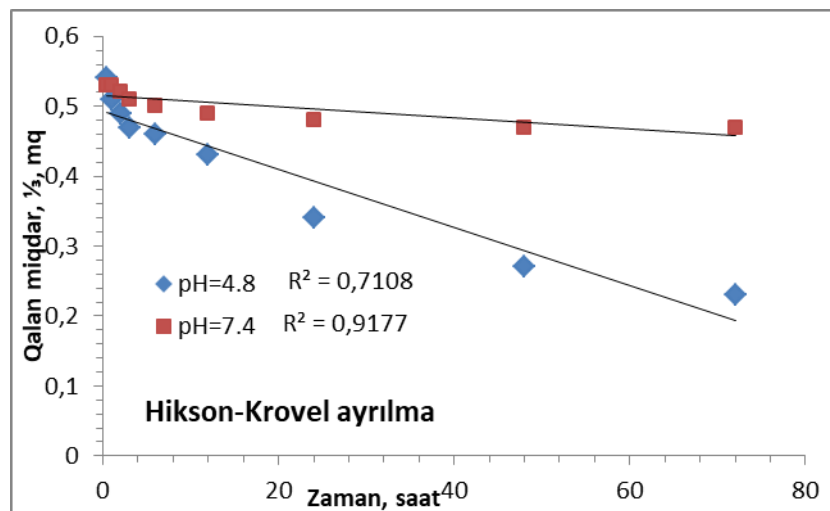
Şəkil 4. PKL nanokapsulundan Doks.-nin ayrılmasının Hiquçi kinetik modeli



**Şəkil 5.** PKL nanokapsulundan Doks.-nin ayrılmasının Korsmeyer-Peppas kinetik modeli

Hıquçı ayrılma mexanizmi suda həll olan və ya az həll olan dərman maddələrinin bərk yaxud semi bərk matrisalardan ayrılmasını ehtiva edir. Bu mexanizmə görə ayrılma dərəcəsi zamanın kökaltı qiyməti ilə proporsionaldır. Tədqiq olunan obyektə PKL PVP<sub>r</sub> və PEQ ilə inkorporasiya olunduğundan sistem bərk matrisa kimi qəbul edilə bilməz.  $R^2$ -nin qiymətlərinə görə nisbətən uyğun gəlməsi pH=4.8-də müşahidə olunur ki, bu da ilkin 24 saat ərzində daha çox proporsionallığa oturur. Neytral mühitdə isə bu model özünü doğrultmur.

Asılılıqlardan göründüyü kimi, tripsinin PKL əsaslı nanokapsuldan ayrılması Hıquçı modelində olduğu kimi pH=4.8-də qismən Korsmeyer-Peppas mexanizminə uyğun gəlir. Bu mexanizmə görə dərman maddəsinin ayrılması hidrogel-suda şişə bilən sistemlər üçün xarakterikdir. Zəif turş mühitdə daşıyıcı tərkibindəki aktiv mərkəzlərin asan protonlaşması və mühitdəki ionların polimer makromolekullarını solvatlaşdırması onun nisbətən həll olma vəziyyətinə keçid kimi qiymətləndirilə bilər. Bu zaman tərkibdəki dərman maddəsi diffuziya ilə mühitə ayrılması baş verir. Şişməni isə həmin mühitdə polimer makromolekullarının çevikliyinin artması və yüksək hidratlaşma prosesi ilə əlaqələndirmək olar. Neytral mühitdə isə ayrılma Korsmeyer-Peppas mexanizminə uyğun gəlmir gəlmir. Deməli mühitin təbiəti ayrılmanın kinetikasına ciddi təsir edən faktorlardandır.



**Şəkil 6.** PKL nanokapsulundan Doks.-nin ayrılmasının Hikson-Krovel kinetik modelinə tətbiqi

Ayrılmanın kinetik nəticələrinin Hikson-Krovell modelinə tətbiqində isə əksinə neytral mühitdə Doks.-nin ayrılması bu mexanizmə uyğun gəlir. Bu modelə görə dərman maddəsinin ayrılması diffuziya ilə deyil, daşıyıcı səthinin ölçüsü və dərmanın ayrılma sürəti ilə tənzimlənir. Başqa sözlə daşıyıcının səthinin sahəsinin dəyişməsi dərmanın həll olma dərəcəsinə təsir edir başqa sözlə hissəcik qruplarının müntəzəm sahəsi onun həcmnin kub kökü ilə proporsionaldır. Turş mühitdə ayrılma bu mexanizmə uyğun gəlmir, neytral mühitdə isə qismən bu mexanizm ilə ayrılmanı təsdiq edə bilərik. Bu tip ayrılma mexanizmi həbb formasında hazırlanan farmaseptik tərkiblər üçün xarakterikdir.

Əldə olunan nəticələrə görə, PKL əsaslı nanokapsuldan Doks.-nin ayrılması pH=4.8-də Hiquçi mexanizminə, neytral pH=7.4-də Hikson-Krovell ayrılması kinetik mexanizmlərinə daha çox uyğun gəlir. Ayrılmanın kinetik nəticələrinin hər bir model üçün təklif edilən riyazi tənliyə tətbiq etməklə ayrılma sabitləri və Korsmeyer-Peppas ifadəsində göstərilən ayrılma eksponenti ( $n$ ) müəyyən edilmişdir (Cədvəl 2).

**Cədvəl 2.**

*PKL gelindən doksorubisinin müxtəlif pH-larda ayrılmasının kinetik parametrləri*

| Mühit  | Sıfır tərtib |        | I tərtib             |        | Hiquçi |        | Korsmeyer-Peppas |      |        | Hikson-Krovell |       |
|--------|--------------|--------|----------------------|--------|--------|--------|------------------|------|--------|----------------|-------|
|        | $K_0$        | $R^2$  | $K_1 \times 10^{-2}$ | $R^2$  | $K_H$  | $R^2$  | $K$              | $n$  | $R^2$  | $K_{HK}$       | $R^2$ |
| pH=4.8 | 1.129        | 0.8171 | 3.45                 | 0.9594 | 11.16  | 0.9473 | 11.99            | 0.58 | 0.9363 | -0.004         | 0.710 |
| pH=7.4 | 0.365        | 0.6548 | 0.46                 | 0.6934 | 3.78   | 0.8369 | 4.79             | 0.51 | 0.8794 | -0.001         | 0.917 |

Cədvəldən göründüyü kimi, PKL matrisasından doksorubisinin ayrılması yüksək reqressiya əmsalı ilə birinci tərtib kinetik ayrılma modelinə daha çox uyğun gəlir. Bu modelə görə ayrılma məsələlərində dərman maddəsi saxlayan matrisalardan yaxud burulmuş makromolekul zəncirləri arasından baş verir. Başqa sözlə matrisa vahid zamanda tərkibindəki dərman maddəsinin miqdarına proporsional olaraq ayrılma həyata keçirir. Digər tərəfdən  $n$ -nin qiymətinin hər iki mühitdə 0.5 ilə 1.0 aralığında olması qeyri-Fikian daşınma mexanizmini dəstəklədiyi, ayrılmanın isə həmin mühitlərdə həm diffuziya, həm də polimer makromolekullarının eroziyası ilə baş verdiyini göstərir. Nəticələrə onu deməyə əsas verir ki, PKL tərkibli matrisaya immobilizə edilmiş doksorubisin saxlayan dərman formasından silindir formalı geometrik görünüşə malik farmaseptik dozaların hazırlanması və zəif turş, eləcə də neytral mühitlərdə nəzarətli ayrılması olacaq sistemlər kimi istifadə etmək mümkündür. Matrisadan ayrılan aktiv komponentin miqdarı isə terapevtik dozada olub zamandan asılı olaraq stabil ayrılma miqdarları ilə xarakterizə olunur.

## ƏDƏBİYYAT

1. Tapdıgov, Ş.Z. The bonding nature of the chemical interaction between trypsin and chitosan based carriers in immobilization process depend on entrapped method // A Review. International J. of Biological Macromolecules, –2021, V.183, –pp.1676-1696.
2. Peppas, N.A. Hydrogels in biology and medicine: from molecular principles to bionanotechnology / N.A.Peppas, J.Z.Hilt, A.Khademhosseini [et al.] // Advances Materials, – 2006, V.18, –pp.1345-1360.
3. Tapdıgov, Ş.Z. Electrostatic and hydrogen bond immobilization trypsine onto pH-sensitive N-vinylpyrrolidone and 4-vinylpyridine co-grafted chitosan hydrogel // Macromolecules Research, –2021, V.29, Iss.2, –pp.120-128.
4. Woodruff, M.A. The return of a forgotten polymer - Polycaprolactone in the 21st century / Woodruff M.A., Hutmacher D.W. // Institute of Health and Biomedical Innovation, 2010, V. 35, p.1217-1256.
5. Tapan, K. Poly-ε-caprolactone based formulations for drug delivery and tissue engineering / K.Tapan, V.Dash, B.Konkimalla // A review. J Control Release, –2012, V.158(1), –pp.15-33.

6. Grossen P, Witzigmann D., Sieber S., Huwyler J. PEG-PCL-Based Nanomedicines: A Biodegradable Drug Delivery System and its Application. Division of Pharmaceutical Technology, –2017. –pp. 20-22.

#### РЕЗЮМЕ

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ДОКСОРУБИЦИНА НА КИНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ИЗ ИММОБИЛИЗИРОВАННОГО НОСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-ε-КАПРОЛАКТОНА

*Тандыгов Ш.З., Мустафеев М.М., Ахмедова И.М.*

**Ключевые слова:** поли-ε-капролактон, иммобилизация, доксорубицин, выделение, кинетическая модель.

Разработана носитель-матрица, основной структурный состав которой состоит из поли-ε-капролактона. Методом двойной эмульсии в его состав был иммобилизован доксорубицин, а его емкость по антибиотикам составила 0.157 мг/мг. Эффективность инкапсуляции и лекарственной нагрузки полученной нанокapsулы по антибиотикам составляет 71.8 и 15.69% соответственно. Выделение препарата из носителя изучали при pH 4.8, характерном для раковых клеток и при pH 7.4, для здоровых клеток человека. Установлено, что в слабокислой среде выделение составило 50% в течение 12 часов и стабилизировалось через 24 часа с выходом 90%. В нейтральной среде же выделение в течение 72 часов составляет 32%. Выделение доксорубицина из нанокapsулы на основе поли-ε-капролактона соответствует механизму Хигучи при pH=4.8 и кинетическими механизмами выделения по Хиксону-Кровелу при pH=7.4. По полученным результатам матрица на основе поли-ε-капролактона может быть использована в фармакологии при приготовлении цилиндрических лекарственных форм для транспортировки и регулируемом выделении лекарственных веществ

#### SUMMARY

#### STUDY OF DOXORUBICIN RELEASE INTO THE MEDIUM ON KINETIC MODELS FROM IMMOBILIZED POLY-ε-CAPROLACTONE BASED CARRIER

*Tapdiqov Sh.Z., Mustafayev M.M., Akhmadova I.M.*

**Key words:** poly-ε-caprolactone, immobilization, doxorubicine, release, kinetic model.

A carrier matrix whose main structural content is poly-ε-caprolactone is designed. Doxorubicin was immobilized in its content by the double emulsion method, and its antibiotic capacity was 0.157 mg/mg. Antibiotic encapsulation efficiency and drug loading of the obtained nanocapsule were 71.8% and 15.69%, respectively. Release of the drug from the carrier was studied at pH 4.8 medium, characteristic of cancer cells, and at pH 7.4 medium, typical of healthy human cells. It was determined that in a weakly acidic medium, the release was 50% within 12 hours and stabilizes at 90% after 24 hours. The release data was 32% in 72 hour at neutral medium. The release of doxorubicin from the poly-ε-caprolactone-based nanocapsule were more fitted with the Higuchi mechanism at pH=4.8 and the Hixon-Crowell release kinetic mechanisms at pH=7.4. According to the results, the poly-ε-caprolactone-based matrix could be used in the preparation of cylindrical pharmaceutical dosage forms for controlled release and delivery of drug substances in pharmacology.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 11.01.2023 |
|                   | Son variant   | 27.03.2023 |

**SİNTETİK TETRAEDRİTİN  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  SİNTEZİ VƏ BƏZİ XASSƏLƏRİ****<sup>1</sup>ƏLİYEV ÖZBƏK MİSİRXAN oğlu****<sup>1</sup>ƏLİYEV İMİR İLYAS oğlu****<sup>2</sup>RƏHİMOVA VALİDƏ MURAD qızı****<sup>2</sup>ALLAZOVA NİGAR MAHMUD qızı***akad. M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutu, 1-k.e.d., 2- k.f.d..*[allazova.nigar@gmail.com](mailto:allazova.nigar@gmail.com)*Açar sözlər: tetraedrit, birləşmə, sulfoduz, kristal qəfəsi, parametrlər, sıxlıq*

Bərpa olunan enerji mənbələrinin axtarışı, sintezi və tədqiqi dövrümüzün ən aktual problemidir. Alternativ energetikanın istiqamətlərindən biri və ən vacibi termoelektrik materiallar əsasında qurğunun istifadəsidir. Belə qurğu istilik və elektrik enerjilərinin qarşılıqlı çevrilməsinə əsaslanır. Termoelektrik materialların effektivliyi faydalı iş əmsalı adlandırılan və  $ZT = \alpha^2 \sigma T / \kappa$  düsturu ilə ifadə olunan ölçüsüz kəmiyyətlə təyin olunur (burada  $\alpha$ -Zeebek əmsalı,  $\sigma$ -məxsusi elektrik keçiriciliyi,  $\kappa$ -isə xüsusi istilik keçiriciliyini göstərir). Göründüyü kimi, effektiv termoelektrik materiallar yüksək Zeebek əmsalına ( $\alpha$ ), yüksək elektrik keçiriciliyinə və aşağı istilik keçiriciliyinə malik olmalıdır.

Digər tərəfdən termoelektrik materialların sintezində istifadə olunan elementlər az toksiki və ucuz olmalıdır. Qeyd etmək lazımdır ki, effektiv termoelektrik materiallar kiçik qadağan olunmuş zolaqlı ( $\Delta E$ ) birləşmə və bərk məhlullarda müşahidə olunur. Məsələn, bismut və qurğuşunun telluridləri və onların əsasında sintez olunmuş bərk məhlullar ilk tarixi termoelektrik materiallardır [1-3]. Sonralar bu xassələr digər xalkogenidlərdə də müşahidə olunmuşdur [4-6]. Lakin  $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$  tipli bərk məhlullar yüksək faydalı iş əmsalına malik olsa da, laylı quruluşlu olduğundan onun üzərində inteqral sxemlərin yığılması çətinləşir. Digər tərəfdən bu materiallar əsasən 77-300 K temperatur intervalında yüksək effektivliyə malikdir. Orta və yüksək temperatur intervalı üçün nəzərdə tutulmuş  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  və  $\text{Pb}_{1-x}\text{Hg}_x\text{Te}$  materialları isə toksiki (Pb, Hg) tərkibli olduğundan məhdud tətbiq sahəsinə malikdir.

Göstərilənləri nəzərə alaraq, tetraedrit  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  mineralı əsasında orta və yüksək temperatur intervalında (600-900K) işləyən effektiv termoelektrik materialların alınması olduqca vacibdir.

**Təcrübi hissə.** İlk öncə qeyd etmək lazımdır ki, tetraedrit mineralına müraciət etməyimizin səbəbi onun bir tərəfdən toksiki olmaması, ona görə də istifadədən sonra asan utilizasiyası, sintez üçün istifadə olunan elementlərin asan tapılması və ucuz olması, digər tərəfdən isə tetraedritin müxtəlif qəfəsalılıqlarında əvəz etmə yolu ilə müxtəlif növ bərk məhlulların alınma imkanına malik olması ilə əlaqədardır.

Bircinsli  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  və onun əsasında bərk məhlulların alınması üçün ədəbiyyatda müxtəlif metodikalar təklif olunmuşdur.

Təmiz tetraedrit ya elementlərə, ya da öncədən sintez olunmuş binar sulfidlərin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) vakuumlaşdırılmış kvarts ampulada əridilməsindən alınmışdır. Qalayla əvəzlənmiş nümunələr  $\text{Cu}_{12-x}\text{Sn}_x\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ - $\text{Cu}_2\text{S}+\text{SnS}+\text{Sb}_2\text{S}_3$ , dəmir ilə əvəzlənmiş nümunələr  $\text{Cu}_{12-x}\text{Fe}_x\text{Sb}_{4-x}\text{S}_{13}$ - $\text{Cu}_2\text{S}+\text{Sb}_2\text{S}_3+\text{FeS}$ , itterbiyumla əvəzlənmiş ərintilər  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_{4-x}\text{Yb}_x\text{S}_{13}$ -

$\text{Cu}_2\text{S}+\text{Sb}_2\text{S}_3+\text{Yb}_2\text{S}_3$ , anionəvəzli  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13-x}\text{Te}$  törəmələr isə kükürdün qismən tellurla əvəzlənməklə 800-900K temperaturda əritməklə sintez olunmuşdur.

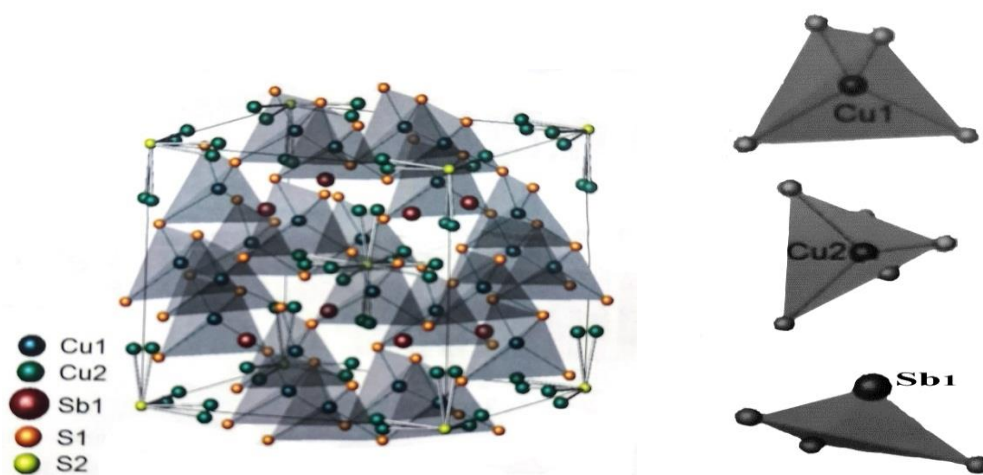
Bütün hallarda sintez iki mərhələdə aparılmışdır. Birinci mərhələdə temperatur 873-973K təşkil etmişdir. Sintezin ikinci mərhələsi (723-773K) ərintinin tədricən soyudulması mərhələsi hesablanı bilər. Müəyyən edilmişdir ki, tetraedrit fazası sintezin birinci mərhələsində əmələ gəlir, bu halda ikinci mərhələ əslində ərintinin homogenləşdirilməsi üçün zəruridir.

Qeyd etmək lazımdır ki, bütün sintez prosesində ampula ərintinin tam qarışması məqsədi ilə mexaniki vibrasiya etdirilmişdir. Maksimal temperaturda (1000K) ampula 45 dəq saxlanıldıqdan sonra (reaksiya girməyə imkan tapmamış misin tərkibə daxil olmasını təmin etmək məqsədilə) tədricən soyudulmuşdur.

Birinci mərhələ 8-14 saat davam etdiyi halda, ikinci mərhələ bir neçə sutkadan bir neçə həftəyə qədər davam etmişdir. Bu cür texnoloji rejim əsasında bircinsli polikristallik nümunələr alınmışdır. Ərintilər rentgenoqrafik və mikroskopik üsulla tədqiq olunmuşdur. Onların rentgenoqramları Bruker firmasının D2 Pilsener aparatında ( $\text{CuK}\alpha$ , Ni-filtr) çəkilmiş, mikroskopik tədqiqat MİM-7 mikroskopunda aparılmışdır. Ərintilərin sıxlığı piknometrik üsulla ölçülmüşdür.

**Alınmış nəticələr və onların müzakirəsi.** Tetraedrit mineralı çox geniş tədqiq olunmuş sulfoduz olmasına baxmayaraq  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Sb}_2\text{S}_3$  sistemində onun əmələ gəlməsi haqqında məlumatlar yoxdur. Təbii tetraedrit ədəbiyyat [7-10] məlumatlarına görə yüksək faydalı iş əmsalı (FİƏ) ilə xarakterizə olunur və hazır termoelement kimi istifadə oluna bilər. Onun 723K-də FİƏ 0.2-1.0 intervalında dəyişir [9].

Rentgenoqrafik analizin nəticələrinə görə  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  birləşməsi kubik sinqoniyada kristallaşır və hesablanmış qəfəs parametri ( $a=10.337\text{\AA}$ ,  $V=1104.54\text{\AA}^3$ ,  $z=2$ , fəza qrupu  $I\bar{4}3m$ ,  $d_{\text{təc.}}=5.028$ ,  $d_{\text{hes.}}=5.022\text{q/sm}^3$ ) ədəbiyyat məlumatlarına ( $a=10.3405\text{\AA}$ ,  $V=1102.446\text{\AA}^3$ , fəza qrupu  $I\bar{4}3m$ ,  $z=2$ ,  $d_{\text{hes.}}=5.0197\text{q/sm}^3$  [4,6]) uyğun gəlir. Tetraedrit birləşməsinin rentgenoqrafik hesabı cədvəldə verilmişdir. Birləşmənin kristal quruluşu ilk dəfə [11, 12] işlərinin müəllifləri tərəfindən yerinə yetirilmişdir.



**Şəkil 1.** Tetraedrit mineralının kristal quruluşu(a) və atomların kristalloqrafik vəziyyətləri(b)

Tetraedritin quruluşunda 5 asılı olmayan kristalloqrafik vəziyyət müşahidə olunur.  $\text{Cu}_{(1)}-12d$  və  $\text{Cu}_{(2)}-24g$ ,  $\text{Sb}_{(1)}-24g$  və  $\text{S}_{(2)}-2a$  (şəkil1). Göründüyü kimi  $\text{Cu}_{(1)}$  atomları  $\text{S}_{(1)}$  atomlarının tetraedrik əhatəsində yerləşir.  $\text{Cu}_{(2)}$  atomlarının vəziyyəti onun iki  $\text{S}_{(1)}$  və bir  $\text{S}_{(2)}$  atomlarının əhatəsində olmaqla üçbucağın müstəvisindən kənara çıxır.

Quruluşda  $Sb_{(1)}$  atomları  $S_{(1)}$  atomlarının piramidal əhatəsində olub, bölünməmiş elektron cütü ilə  $Cu_{(2)}$  atomları ilə qarşılıqlı təsirdədir.

**Cədvəl.**

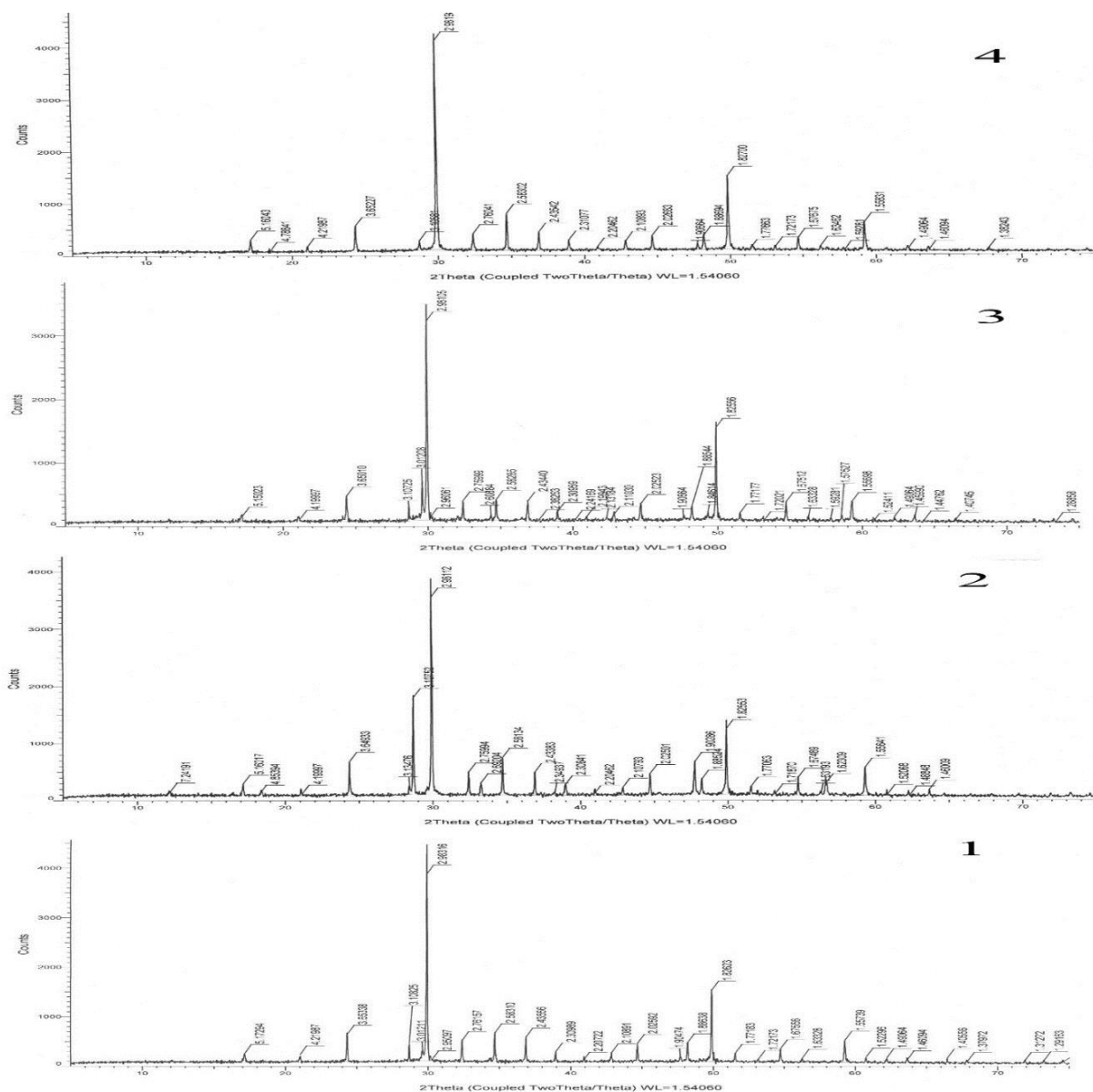
$Cu_{12}Sb_4S_{13}$  birləşməsinin rentgenoqramının hesabı ( $a=10,3370\text{\AA}$ ,  $z=2$ ,  $V=1104.54\text{\AA}^3$ )

| $d_{\text{noz}}, \text{\AA}$ | J/J | $1/d_{\text{noz}}^2, \text{\AA}$ | hkl      | $1/d_{\text{hes}}^2, \text{\AA}$ | $d_{\text{hes}}, \text{\AA}$ |
|------------------------------|-----|----------------------------------|----------|----------------------------------|------------------------------|
| 5.17294                      | –   | 0.037369                         | 200      | 0.03739                          | 5.171                        |
| 4.21987                      | 1   | 0.05618                          | 211      | 0.056085                         | 4.223                        |
| 3.65338                      | 3   | 0.0749                           | 220      | 0.07478                          | 3.656                        |
| 3.10825                      | 2   | 0.1035                           | 311      | 0.1028                           | 3.119                        |
| 2.98316                      | 10  | 0.1124                           | 222      | 0.1122                           | 2.985                        |
| 2.95097                      | 3   | 0.1148                           | -        | -                                | -                            |
| 2.76157                      | 4   | 0.1311                           | 321      | 0.130865                         | 2.765                        |
| 2.5831                       | 3   | 0.1499                           | 400      | 0.14956                          | 2.586                        |
| 2.43566                      | 2   | 0.1685                           | 411      | 0.1683                           | 2.438                        |
| 2.30989                      | 2   | 0.1885                           | 420      | 0.1870                           | 2.312                        |
| 2.20722                      | 2   | 0.2053                           | 332      | 0.2056                           | 2.207                        |
| 2.10891                      | 3   | 0.2243                           | 422      | 0.2243                           | 2.112                        |
| 2.02592                      | 2   | 0.2436                           | 431, 510 | 0.2430                           | 2.028                        |
| 1.90474                      | 3   | 0.2756                           | 432, 520 | 0.2711                           | 1.921                        |
| 1.88638                      | 4   | 0.2811                           | 521      | 0.2804                           | 1.888                        |
| 1.82623                      | 1   | 0.2999                           | 440, 441 | 0.2991                           | 1.828                        |
| 1.77183                      | 2   | 0.3185                           | 433      | 0.3178                           | 1.774                        |
| 1.72173                      | 2   | 0.3372                           | 600      | 0.3365                           | 1.724                        |
| 1.67556                      | 3   | 0.3564                           | 611      | 0.3552                           | 1.678                        |
| 1.63328                      | 1   | 0.3750                           | 620      | 0.3739                           | 1.636                        |
| 1.55739                      | 4   | 0.4125                           | 622      | 0.4113                           | 1.559                        |
| 1.49064                      | 1   | 0.4498                           | 444      | 0.4487                           | 1.493                        |
| 1.46094                      | 1   | 0.4685                           | 710      | 0.4674                           | 1.463                        |
| 1.40556                      | 1   | 0.5066                           | 721      | 0.5048                           | 1.408                        |
| 1.37972                      | 1   | 0.5259                           | 624      | 0.5235                           | 1.382                        |
| 1.31272                      | 1   | 0.5800                           | 732      | 0.5795                           | 1.314                        |
| 1.29163                      | 1   | 0.5991                           | 800      | 0.5982                           | 1.293                        |

İrəlidə qeyd etdiyimiz kimi, tetraedritdə atomların müxtəlif kristalloqrafik vəziyyətlərdə olması onun əsasında kation və anion əvəzləmələri aparmaqla bərk məhlul almaq olar. Bu məqsədlə

aşağıdakı növ əvəzləmələr aparılmışdır:  $\text{Cu}_{12-x}\text{Sn}_x\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ;  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_{4-x}\text{Sn}_x\text{S}_{13}$ ;  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_{4-x}\text{Yb}_x\text{S}_{13}$ ;  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_{4-x}\text{Te}_x\text{S}_{13}$  və  $\text{Cu}_{12-x}\text{Fe}_x\text{Sb}_4\text{S}_{13}$

Müxtəlif kation və anion əvəzli nümunələrin rentgenoqrammaları şəkl.2-də verilmişdir.

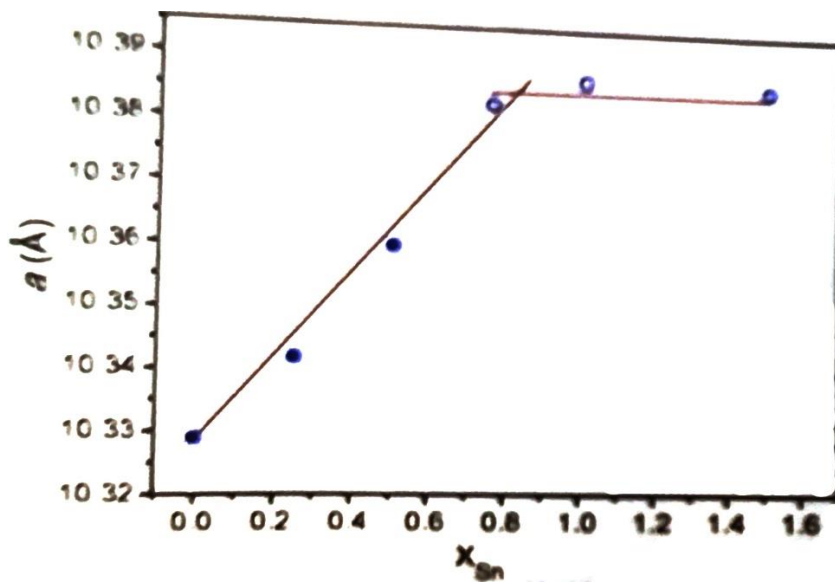


**Şəkil 2.** Tetraedrit və onun əsasında alınmış bərk məhlullar. 1-  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ,  
2-  $\text{Cu}_{11}\text{FeSb}_2\text{S}_{13}$ , 3-  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_{3.98}\text{Yb}_{0.02}\text{S}_{13}$ , 4-  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{TeSe}_{12}$

Bu məqsədlə nominal tərkibləri  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_{4-x}\text{Sn}_x\text{S}_{13}$  ( $x=0.5$ ; 1.0 və 1.5) olan ərintilər sintez olunmuşdur. Rentgenoqrafik analizlərin nəticələrinə görə nümunələrin faza tərkibi əsasən tetraedritdən və aşqar fazadan ibarətdir. Tərkibində  $x=0.5$  olan ərinti 85% tetraedrit və 15%  $\text{Cu}_3\text{SbS}_4$ -dən ibarətdir. Müəyyən edilmişdir ki, ərintidə  $x$ -in miqdarı artdıqca ikinci fazanın miqdarı artır.

Göründüyü kimi Cu, Sn, Sb, Yb, Fe və S atomlarının ion radiuslarına müvafiq sürüşmələr nəzərə alınmasa verilmiş rentgenoqrammalar tetraedritin  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  rentgenoqramı ilə identikdir. Bu traedritin əsasında kation və anion əvəzli bərk məhlul əmələ gəldiyini təsdiqləyir.

Nominal tərkibləri  $\text{Cu}_{12-x}\text{Sn}_x\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  ( $x=0.25; 0.5; 0.75; 1.0$  və  $1.5$ ) olan ərintilərin faza analizi göstərir ki,  $\text{Cu}_{11.75}\text{Sn}_{0.25}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  ərintisində  $x=0.5$  olduqda isə 3%-ə qədər  $\text{CuSbS}_2$  iştirak edir. Qalayın miqdarı artdıqca ərintidə  $\text{CuSbS}_2$  və  $\text{Cu}_2\text{SnS}_3$  fazalarının miqdarı artır. Belə qənaətə gəlmək olar ki, tetraedritdə  $\text{Cu}^{2+}$  ionlarının  $\text{Sn}^{2+}$  ionları ilə əvəzlənməsi  $x=0\div 0.8$  intervalında dəyişir (şəkil 3).



Şəkil 3. Qalayın miqdarından asılı olaraq elementar qəfəsin parametrinin dəyişməsi

Qeyd etmək lazımdır ki, ərintidə qalayın miqdarı artdıqca elementar qəfəsin parametri qanunauyğun olaraq artır. Tetraedrit əsasında sintez olunmuş kation və anion əvəzli bərk məhlulların termoelektrik xassələrinin ölçü nəticələri haqqında məlumatların növbəti işlərdə verilməsi planlaşdırılır.

### ƏDƏBİYYAT

1. Carl, M. Transport properties of n-type  $\text{Bi}_2(\text{Te}_{1-x}\text{Se}_x)_3$  single crystals solid solutions ( $x \leq 0.09$ ) / M. Carl, P. Pierrat, C. Lahalle-Gravier [et al.] // J. Phys.-Chem. Solids, –1995, v.56, –pp.201-209.
2. Yang, J. Thermoelectric properties of p-type  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$  prepared via bulk mechanical alloying and hot pressing / J. Yang, T. Aizawa, A. Yamamoto [et al.] // J. Alloys Compd., –2000, v.309, – pp. 225-228
3. Gelbstein, Y. High performance n-type PbTe-based materials for thermoelectric applications / Y. Gelbstein, Z. Dashevsky, P. Dariel // Physical, –2005, v.363, –pp.196-205.
4. Poudeu, P.F. High thermoelectric figure of merit and nanostructuring in bulk p-type  $\text{Na}_{1-x}\text{Pb}_x\text{Sb}_y\text{Te}_{y+2}$  / P.F. Poudeu, J.D. Angelo, A.D. Downey [et al.] // Angew. Chem. Int. Ed., –2006, v.45, –pp.1-5.
5. Li, Z. Comparison of thermoelectric performance of  $\text{AgPb}_x\text{SbTe}_{20}$  ( $x=20-22.5$ ) polycrystals fabricated by different methods / Z. Li, M. Zou, J. Li // J. Alloys Compd., –2013, v.59, –pp.319-323.
6. Алиев О.М., Рустамов П.Г., Абилов Ч.И., Курбанов Т.Х. Термоэлектрический материал / Авт. св-во №1144576, –1983.
7. Chetty, R. Tetrahedrites as thermoelectric materials / R. Chetty, A. Bali, R.C. Malik // J. Mater. Chem., –2015, v.3, –pp.12364-12378.
8. Johnson, N.E. Crystal chemistry of tetrahedrit / N.E. Johnson, J.R. Craig, J.D. Pimstid // Amer. Mineral, –1988, v.73, –pp.389-397.
9. Lu, X. Natural mineral as a direct source of thermoelectric materials / X. Lu, D.T. Morrel // Phys. Chem. Chem. Phys. –2013, v.15, –pp.5762-5766.

10. Бабанлы, М.Б. Трехкомпонентные халькогениды на основе меди и серебра // М.Б.Бабанлы, Ю.А.Юсипов, В.Т.Абишев. –Баку: Изд-во БГУ, –1993. –341с.
11. Wuench B.J. The Crystal structure of tetraedrit Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> // Z. Crystallogr., –1964, v.118, – pp.437-453.
12. May, A.F. Structure phasetransition and phonon instability Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> / A.F.May, O.Delaire, Y.L.Nieziela [et al.] // Phys. Rer. B. –2016, v.93, –pp.064104.

**РЕЗЮМЕ**  
**СИНТЕЗ И НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО**  
**ТЕТРАЭДРИТА Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>**

*Алиев О.М., Алиев И.И., Рагимова В.М., Аллазова Н.М.*

**Ключевые слова:** *тетраэдрит, соединение, сульфосоль, кристаллическая решетка, параметр, плотность.*

С использованием прямого метода синтеза из особо чистых элементов (Cu, Sb, S) или бинарных сульфидов (Cu<sub>2</sub>S, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) синтезировали синтетической минерал тетраэдрит Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>, катион и анионзамещенные представители его со сплавлением в вакуумированных кварцевых ампулах.

Методами рентгенографического и микроскопического анализов установлено, что Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> и производные его анион и катион замещенные представители (Cu<sub>12</sub>Sb<sub>3,98</sub>Yb<sub>0,02</sub>S<sub>13</sub>, Cu<sub>11</sub>FeSb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>, Cu<sub>11</sub>SnSb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> и Cu<sub>12</sub>Sb<sub>3</sub>TeS<sub>13</sub>) однородны и кристаллизуются в кубической сингонии (Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S; a=10,3331Å, прост. группа *I*4̄3m, z=2, d=5,022г/см<sup>3</sup>).

Установлено, что с увеличением количества катион и анион замещенных атомов, т.е. олова, железа, иттербия и теллура наблюдается образование второй фазы.

**SUMMARY**  
**SYNTHESIS AND SOME PROPERTIES OF SYNTHETIC Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> TETRAHEDRITE**  
*Aliev O.M., Aliev I.I., Raghimova V.M., Allazova N.M.*

**Keywords:** *tetrahedrite, compound, sulfosalt, crystal lattice, parameter, density*

Synthetic mineral tetrahedrite Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>, its cation and anion-substituted representatives were synthesized by the direct method of synthesis from super pure elements (Cu, Sb, S) or binary sulfides (Cu<sub>2</sub>S, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) by fusion in evacuated quartz ampoules.

X-ray and microscopic analyses have established that Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> and its anion and cation substituted derivatives (Cu<sub>12</sub>Sb<sub>3,98</sub>Yb<sub>0,02</sub>S<sub>13</sub>, Cu<sub>11</sub>FeSb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>, Cu<sub>11</sub>SnSb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> and Cu<sub>12</sub>Sb<sub>3</sub>TeS<sub>13</sub>) are uniform and crystallize in cubic syngony (Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S; a=10.3331Å, simple group *I*4̄3m, z=2, d=5.022 g/cm<sup>3</sup>).

It was found that with increasing number of cation and anion substituted atoms, i.e. tin, iron, ytterbium and tellurium formation of the second phase is observed.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 20.10.2022 |
|                   | Son variant   | 26.12.2023 |

УДК 547.678+678.045

DOI 10.54758/16801245\_2023\_23\_4\_43

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АМИДОВ ИМИДСОДЕРЖАЩИХ ДИКИСЛОТ КАНИФОЛИ В СОСТАВЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА

ПИРГУЛИЕВА МАТАНАТ САФАР ГЫЗЫ [ORCID](#)

[sdtk-1959@mail.ru](mailto:sdtk-1959@mail.ru)

Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан, доцент

**Ключевые слова:** канифоль, бутадиен-стирольный каучук, имидсодержащие дикислоты, модифицирующие добавки, резиновые смеси,

Взаимодействием дихлорангидридов имидсодержащих дикислот канифоли с аммиаком были получены амиды имидсодержащих дикислот, которые были испытаны в качестве модифицирующих добавок к бутадиен-стирольному каучуку (БСК).

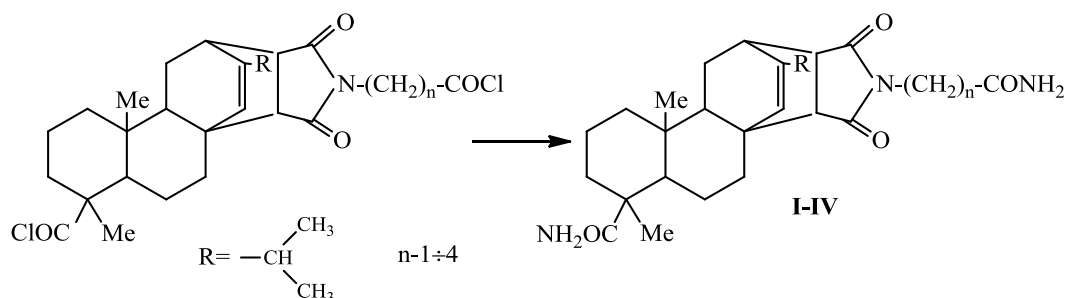
В результате проведенных исследований установлено, что введение в состав БСК композиций синтезированных соединений повышает деформационно-прочностные показатели и уменьшает склонность к преждевременной вулканизации. Выявлено, что введение в состав резиновых смесей полученных диамидов приводит к увеличению также коэффициента теплового старения, что указывает на повышение устойчивости композиций к тепловому старению.

**Введение.** Бутадиен-стирольный каучук благодаря доступности и дешевизне исходных компонентов для его производства, а также хорошим рабочим свойствам и сегодня остается ценнейшим продуктом среди синтетических эластомеров. Резины, изготовленные на основе бутадиен-стирольного каучука, имеют хорошие эксплуатационные свойства. Перечисленные достоинства делают его производство необходимым и одновременно перспективным. Основным назначением резин на основе БСК является производство автомобильных шин, различных резино-технических и кабельных изделий.

Бутадиен-стирольный каучук, хоть и обладает улучшенными физико-механическими свойствами, тем не менее, он не удовлетворяет современным требованиям, предъявляемым к резинам, изготовленным на его базе. Следовательно, требуется модификация его с различными низко- и высокомолекулярными соединениями или же олигомерами, содержащими в своем составе функционально-активные, т.е. реакционноспособные группы [1-3]

Следует подчеркнуть, что процесс подвулканизации резиновых смесей является одним из основных явлений, препятствующих нормальному производству резинотехнических изделий. Обычно для подавления скорости преждевременной вулканизации в резиновую композицию добавляют специальные вещества из класса органических соединений – так называемые замедлители подвулканизации.

В данной работе в качестве модифицирующих агентов в составе БСК использованы амиды имидсодержащих дикислот канифоли, полученных взаимодействием дихлорангидридов имидсодержащих дикислот общей формулы:



**Экспериментальная часть.** Амиды имидсодержащих дикислот канифоли синтезированы взаимодействием дихлорангидридов дикислот с аммиаком согласно методике, описанной в работе [4].

Испытание имидсодержащих дикислот соединений I-IV в качестве модифицирующих добавок к БСК проводили следующим образом: базовая смесь на основе БСК содержала (в масс.ч.): БСК марки СКС-30АРКМ-15 – 100.0; серу – 2.0; стеариновую кислоту – 1.0; каптакс – 1.5; окись цинка – 5.0; дифенилгуанидин – 0.3; сажа ДГ-100 – 50. Диамиды I-IV вводили в базовую рецептуру (вместе с наполнителем для облегчения смешения) в количестве 0 (контрольная смесь), 2, 4 и 6 мас.ч. Были изготовлены также композиции с участием амида стеариновой кислоты (АСК) в количестве 2-6 мас.ч. Смеси готовили на двухвалковых лабораторных вальцах (330x152 мм) при 40±5°C. Изготовленные на вальцах композиции подвергали вулканизации при 143°C в течение 60-80 минут при давлении пресса 12 МПа.

Пластичность и время подвулканизации по Муни определяли при 130°C. Реологические параметры определяли на экструдере, оснащенный мундштуком «Gauger» при скорости вращения червяка 35 об/мин. Температура на червяке, в цилиндре, головке и мундштуке 40±5; 70±5; 110±5 и 120±5°C соответственно. Характеристики вулканизатов определяли при 150°C на реометре «Монсанто» R-100, оснащенный микросоплом. Энергию активации реакции вулканизации рассчитывали по уравнению Аррениуса, снимая реограммы при 140, 150, 160 и 170°C и определяли оптимальное время вулканизации  $\tau_{90}$ , при котором достигается 90%-ная степень вулканизации. Механические свойства вулканизатов определяли стандартными методами.

**Обсуждение результатов.** Синтезированные амиды имидсодержащих дикислот были испытаны в качестве модифицирующих агентов в составе БСК. В таблице приведены некоторые показатели резин, изготовленных на основе БСК, без модифицирующей добавки и с добавками: амида стеариновой кислоты (АСК) и диамидов I-IV.

**Таблица.**

*Физико-механические показатели резиновых смесей на основе бутадиен-стирольного каучука  
с добавкой диамидов I(a-d) и АСК.*

| Наименование показателей                             | Резина с добавкой |                |                |                |              |           |
|------------------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|-----------|
|                                                      | I                 | II             | III            | IV             | 0            | АСК       |
| 1                                                    | 2                 | 3              | 4              | 5              | 6            | 7         |
| Вязкость по Муни при 130°C                           | 22.5-20.5         | 22.0-20.0      | 22.0-19.5      | 21.0-19.0      | 25.0         | 22.5-23.5 |
| Время до начало вулканизации при 130°C, мин          | 27.0-28.0         | 28.0-31.0      | 30.0-33.0      | 32.0-34.0      | 26.0         | 26.0-29.0 |
| Предел прочности, МПа до старения*<br>после старения | 27-30<br>20-22.5  | 28-31<br>21-23 | 28-32<br>21-24 | 29-31<br>22-25 | 25.6<br>16.6 | 23<br>25  |

Таблица. (продолжение)

| 1                                                  | 2         | 3         | 4         | 5         | 6    | 7       |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|---------|
| Относительное удлинение, %<br>до старения          | 650-660   | 660-670   | 660-680   | 680-700   | 660  | 670     |
| после старения                                     | 525-550   | 550-570   | 555-580   | 585-625   | 480  | 720     |
| Остаточное удлинение, %                            | 18-19     | 18-20     | 19-21     | 20-22     | 17   | 18-19   |
| Модуль при 300%-ном удлинении, МПа                 | 7.0-7.4   | 7.5-7.8   | 7.3-8.0   | 7.5-8.2   | 9.0  | 8.5-9.0 |
| Твердость по ТМ-2                                  | 58-59     | 59-60     | 59-61     | 58-60     | 60   | 58-59   |
| Коэффициент сопротивления тепло-<br>вому старению: |           |           |           |           |      |         |
| –по сопротивлению разрыву                          | 0.72-0.74 | 0.73-0.75 | 0.73-0.77 | 0.77-0.78 | 0.65 | 0.68    |
| –по относительному удлинению                       | 0.81-0.83 | 0.83-0.85 | 0.84-0.86 | 0.86-0.89 | 0.73 | 0.75    |

\* Условия старения – 100°C в течение 72 часов.

Как видно из приведенных в таблице данных, введение в состав резиновой смеси на основе БСК модифицирующих добавок диамидов I-IV повышает деформационно-прочностные показатели и уменьшает склонность к преждевременной вулканизации. Наряду с этим диамиды I-IV одновременно обеспечивают высокую скорость вулканизации.

Вероятно, все это связано с тем, что используемые добавки способствуют образованию поперечных связей при вулканизации за счет двойной связи диамида и (или) разрыва полициклической структуры, что и приводит к повышению плотности сетки и, тем самым, повышению прочностных показателей [5].

При использовании модифицирующих добавок I-IV в количестве 2-6 мас.ч. возрастает предел прочности при растяжении до 30-32 МПа, при этом относительное удлинение меняется в интервале 660-700%, а время до начала подвулканизации доходит до 28-34 минут. Модуль при 300%-ном удлинении несколько улучшается (в 1,1-1,2 раза). Повышение деформационно-прочностных показателей вулканизатов в присутствии используемых диамидов I-IV, по-видимому, является следствием участия добавок в процессе вулканизации.

Сравнение термостарения резин, модифицированных АСК и синтезированными соединениями I-IV, показало, что предложенные диамиды увеличивают стойкость резин к тепловому старению и улучшают его физико-механические свойства. При этом предел прочности при растяжении увеличивается на 13-20%, стойкость к тепловому старению на 11-21%. Использование диамидов I-IV в рецептуре резиновых смесей уменьшает энергию активации  $E_{акт.}$  процесса вулканизации в 1,2÷1,4 раза, что, вероятно, объясняется участием их в процессе вулканизации (этому свидетельствует неизменность массы образцов после их экстракции).

В результате проведенных экспериментов установлено что, введение в состав резиновых смесей диамидов I-IV приводит к увеличению также коэффициента теплового старения, что указывает на повышению устойчивости композиций к тепловому старению. Коэффициенты при 100°C за 72 часа по прочности и по относительному удлинению доходят до  $k = 0,78$  и  $k = 0,89$  соответственно, в то время как сами резины, изготовленные из БСК без применения модифицирующих добавок, имеют значения этих коэффициентов соответственно  $k = 0,65$  и  $k = 0,73$ .

Исследования показали, что пластичность по Муни композиций, содержащих АСК, гораздо ниже, чем пластичность композиций, изготовленных по стандартной рецептуре, она прогрессивно снижалась с увеличением содержания диамида. В саженаполненных композициях время вулканизации также стремится к уменьшению, тогда как скорость вулканизации значительно возрастает с увеличением содержания АСК. Однако, в случае диамидов I-IV этот эффект либо практически отсутствует, либо проявляется слабо. Пластифицирующее действие АСК можно объяснить спецификой их молекулярного

строения, характеризующегося длинной алифатической цепью, которая обладает гибкостью, обусловленной внутренним свободным вращением связей С–С. Поэтому они эффективно «смазывают» полученные цепи, снижая когезионную энергию и улучшая подвижность цепи. В случае диамидов I-IV, являющихся полициклическими соединениями, что придает их молекуле жесткость, пластифицирующее действие соответственно меньше.

Эксперименты показали, что с увеличением содержания АСК возрастает скорость вулканизации. Этот эффект в случае диамидов I-IV проявляется гораздо слабее и поэтому композиции, содержащие диамины I-IV, менее склонны к преждевременной вулканизации.

Кажущаяся энергия активации реакции вулканизации (энергию активации реакции вулканизации находили по уравнению Аррениуса, снимая реограммы при различных температурах от 140 до 170°C с разницей в 10°C, определяя оптимальное время вулканизации  $t_{90}$ , при котором достигается 90%-ная вулканизация) уменьшается при введении диамидов I-IV тем больше, чем больше их содержание. В сочетании с уменьшением  $t_{90}$  этот факт свидетельствует о том, что диамины I-IV участвуют в реакциях вулканизации. Это может быть обусловлено способностью атомов азота как в амидном, так и в имидном фрагменте образовывать координационные комплексы с ZnO и ускорителями вулканизации [6].

100 и 300%-ные модули, прочность при растяжении и твердость возрастают с увеличением содержания АСК. Стойкость к тепловому старению (при 100°C в течение 72 ч.) заметно ухудшается при введении амида алифатической кислоты, тогда как в случае диамидов I-IV ухудшение незначительно.

В саженатолненных композициях БСК при введении АСК возрастают модули, прочность при растяжении, разрывное удлинение и твердость. Большинство из этих показателей возрастают с увеличением содержания амида. Этот эффект еще более выражен в случае диамидов I-IV. Стойкость композиций к старению такая же, как и в контрольной композиции. В наполненных силикагелем композициях БСК склонность к преждевременной вулканизации снижается с увеличением содержания диамидов I-IV и одновременно снижается время вулканизации и возрастает скорость вулканизации. Механические свойства вулканизатов, содержащих диамины I-IV, несколько выше, чем у вулканизатов, содержащих АСК.

Для оценки эффективности применения амидов как активаторов вулканизации были изучены смеси, в которых АСК, как активатор, полностью или наполовину заменен диаминами I-IV. При этом установлено, что эта замена не оказывает существенного влияния на время подвулканизации, но приводит к уменьшению  $t_{90}$  и увеличению скорости вулканизации композиций (как наполненных, так и ненаполненных). При этом  $E_{акт.}$  также снижается.

Таким образом, были синтезированы и охарактеризованы диамины имидсодержащих дикислот канифоли I-IV. Синтезированные диамины были испытаны в качестве модификаторов в составе композиций на основе бутадиен-стирольного каучука. Исследования показали, что введение их в состав композиций повышает прочностные свойства и улучшает пластичность резины, одновременно уменьшая склонность к преждевременной вулканизации и увеличивая скорость вулканизации. В то же время наблюдается повышенная устойчивость композиций к тепловому старению. Найдено, что используемые в качестве модифицирующих добавок диамины выполняют одновременно несколько функций: облегчают диспергирование наполнителя, оказывают пластифицирующее действие, улучшают технологичность композиции, – ее текучесть и формуемость, а также повышают скорость вулканизации, являясь эффективным активатором вулканизации.

В результате проведенных исследований выявлено, что амины стеариновой кислоты, синтезированные соединения I-IV, а также их смеси могут быть использованы в резиновых композициях, улучшая их деформационно-прочностные свойства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Корнев, А.А. Технология эластомерных материалов / А.А.Корнев, А.М.Буканов, О.Н.Шевердяев. –М: НППА «Истек», –2005, –508 с.
2. Технология резины: рецептуростроение и испытания. / Под. ред. Дика Дж.С.; пер. с англ. под ред. Шершенева В.А. –СПб.: Научные основы и технологии. –2010. – 620 с.
3. Садыков, Р.А. Модификация эмульсионных бутадиен-стирольных каучуков кремнийорганическими соединениями / Р.А.Садыков, А.Д.Хусаинов, И.Ш.Насыров // Вестник Казанского технологического университета. –2016, –Т. 19, № 4, –с.71-73.
4. Пиргулиева М.С. Синтез и свойства полиимидоамидов на основе канифоли // Евразийский союз ученых. –2016, № 2 (23), –с.79-83.
5. Пересторонина, З.А. Структурно-технологические аспекты получения смесевых термоэластопластов / З.А.Пересторонина, Р.И.Аблеев, И.В.Баранец [и др.] // Каучук и резина. –2011, № 6, –с.11-14.
6. Пиргулиева М.С., Зульфалиев Ш.Р., Эфендиев А.А. Бис-(алкилен) имидодиангидриды полициклических тетракарбоновых кислот – новые мономеры для полиимидов. // Тезисы III Бакинской Международной Мамадалиевской нефтехимической конференции. –Баку, 1998, –312 с.

## XÜLASƏ

### KANİFOLUN İMİDTƏRKİBLİ DİTURSULARININ AMİDLƏRİNİN BUTADIEN-STİROL KAUCUKUNUN TƏRKİBİNDƏ İSTİFADƏSİ

*Pirgulyeva M.S.*

**Açar sözlər:** *kanifol, butadien-stirol kauçuku, imidətərkibli ditursular, modifikasiyaedici əlavələr, rezin qarışıqları*

Kanifolun imidətərkibli ditursularının dikhloranhidridlərinin ammoniyakla qarşılıqlı təsirindən imid tərkibli ditursuların amidləri alınaraq butadien-stirol kauçukuna (BSK) modifikasiyaedici əlavə kimi istifadə edilmişdir.

Aparılan tədqiqatlar nəticəsində göstərilmişdir ki, BSK əsaslı kompozisiyaların tərkibinə sintez edilmiş birləşmələrin əlavə edilməsi deformasiya-möhkəmlik göstəricilərinin artmasına və vaxtından əvvəl vulkanlaşmaya qarşı meyilliliyin azalmasına səbəb olur.

Müəyyən edilmişdir ki, rezin qarışığının tərkibindən alınmış diamidlərin əlavə edilməsi həm də istidən qocalma əmsalının artmasına səbəb olur ki, bu da kompozisiyaların istilikdən qocalmaya qarşı davamlılığını göstərir.

## SUMMARY

### USE OF AMIDES OF IMIDE-CONTAINING ROSIN DIACIDS IN THE COMPOSITION OF STYRENE-BUTADIENE RUBBER

*Pirgulyeva M.S.*

**Key words:** *rosin, butadiene-styrene rubber, imide-containing diacids, modifying additives, rubber compounds*

By the interaction of dichloroanhydrides of imide-containing rosin diacids with ammonia, the amides of imide-containing diacids, further tested as modifying additives to styrene-butadiene rubber (BSR) have been obtained.

It has been established as a result of the carried out investigations that the introduction of compositions of the synthesized compounds into the composition of BSR increases the deformation-strength indices and decreases the inclination to premature vulcanization. It has been revealed that the introduction of the obtained diamides into the composition of the rubber mixtures also leads to an increase of the thermal aging coefficient, which indicates an increase of the stability of the compositions to thermal aging.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 10.02.2023 |
|                   | Son variant   | 28.02.2023 |

## AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> KƏSİYİNİN TƏDQIQI VƏ DƏYİŞƏN TƏRKİBLİ FAZALARIN BƏZİ FİZİKİ-KİMYƏVİ XASSƏLƏRİ

MƏMMƏDOV ŞƏRAFƏT HACIĞA oğlu [ORCID](#)

akad. M.F.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutu, Bakı, Azərbaycan, dosent  
[azxim@mail.ru](mailto:azxim@mail.ru)

**Açar sözlər:** dəyişən tərkibli, bərk məhlul, AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub>, diaqram, evtektika, rentgenfaza analizi, Ag<sub>2</sub>S-Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-PbS

Məlumdur ki, gümüş və qurğuşunun tioqallat birləşmələri (AgGaS<sub>2</sub>, Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> və PbGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>) günəş batareyalarının və orta İQ-diapazonda işləyən lazer materiallarının hazırlanmasında çox perspektivli hesab olunur [1-9]. Çoxfunksiyalı perspektiv xassələrə malik material almaq nöqtəyindən AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> sistemlərində qarşılıqlı təsirin öyrənilməsi, alınan dəyişən tərkibli fazaların fiziki-kimyəvi xassələrinin tədqiqi aktual hesab oluna bilər.

PbS-Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub> sistemi [9-11] işinin müəllifləri tərəfindən tədqiq olunmuşdur. [9] İşin müəllifləri sistemdə inqonqrent əriyən PbGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub> və Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> tərkibli iki birləşmənin alındığını göstərmişlər. [10,11] işinin müəlliflərinin aldığı nəticələrə görə isə hər iki birləşmə konqrent olub, 1268 və 1068 K temperaturda parçalanmadan əriyir.

Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> birləşməsi ortorombik sinqoniyada kristallaşır, elementar qəfəsin sabitləri a=12.38, b=11.90, c=11.03 Å bərabər olub, fəza qrupu Pbca tiplidir [10].

Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-Ag<sub>2</sub>S sistemi [12-14] işinin müəllifləri tərəfindən ətraflı tədqiq edilmişdir. [15-17] işində müəlliflər sistemdə üç birləşmənin əmələ gəldiyini (AgGaS<sub>2</sub>, Ag<sub>9</sub>GaS<sub>6</sub> və Ag<sub>2</sub>Ga<sub>20</sub>S<sub>31</sub>) göstərmişlər. Bunlardan Ag<sub>2</sub>Ga<sub>20</sub>S<sub>31</sub> 1268 K temperaturda peritektik reaksiya nəticəsində əmələ gəlir, AgGaS<sub>2</sub> və Ag<sub>9</sub>GaS<sub>6</sub> isə uyğun olaraq 1270 və 1063 K temperaturda parçalanmadan əriyir. AgGaS<sub>2</sub> birləşməsi xalkopiritlə tipdə kristallaşır (a = 5,7544, c = 10,299 Å. sp. gr. İ42d) [15].

Təqdim etdiyimiz elmi-tədqiqat işinin məqsədi Ag<sub>2</sub>S-Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-PbS kvaziüçlü sisteminin AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> kəsiyi üzrə tədqiq olunması və mürəkkəb tərkibli ərintilərin fiziki-kimyəvi xassələrinin öyrənilməsindən ibarətdir.

**Təcrübi hissə.** AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> sisteminin tədqiqi məqsədilə ərintilər birbaşa metodla bir temperaturlu elektrik sobasında liqatordan istifadə etməklə havası qovulmuş və ağzı oksigen – qaz alovunda bağlanmış kvarts ampulada 1100-1300 K temperaturda sintez olunmuşdur. AgGaS<sub>2</sub> və Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> liqaturları xüsusi təmiz elementlərdən sintez olunmuşdur. İlkin komponentlərdən sintez olunmuş ərintilər kvarts ampula ilə birlikdə maksimal temperaturda 45-55 dəq saxlanıldıqdan sonra 15-20<sup>0</sup>/saat sürətlə 800K –nə kimi soyudulmuş və bu rejimdə 12 gün müddətində homogenləşdirildikdən sonra fiziki-kimyəvi analiz metodları (DTA, RFA, MQA və sıxlığın ölçülməsi) ilə analiz olunmuşdur.

**Alınmış nəticələr.** AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> kəsiyini tədqiq etmək üçün 13 nümunə sintez olunmuşdur. (Cədvəl.1)

**Cədvəl 1.**

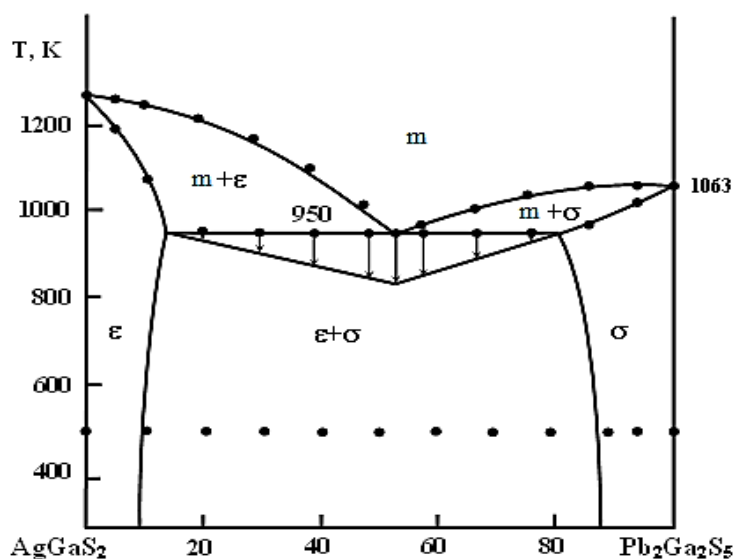
AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> sistemi ərintilərinin tərkibi, DTA və sıxlığın təyini

| Tərkib, mol% AgGaS <sub>2</sub> | Termiki effektlər, K | Sıxlıq, q/sm <sup>3</sup> |
|---------------------------------|----------------------|---------------------------|
| 1                               | 2                    | 3                         |
| 100                             | 1270                 | 4,58                      |
| 95                              | 1190,1260            | 4,62                      |
| 90                              | 1085                 | 4,67                      |

Cədvəl 1. (davamı)

| 1  | 2               | 3    |
|----|-----------------|------|
| 80 | 950,1215        | 4,76 |
| 70 | 950,1210        | 4,85 |
| 60 | 950,1100        | 4,94 |
| 50 | 950,1030        | 5,03 |
| 45 | 950 (evtektika) | 5,07 |
| 40 | 950,965         | 5,12 |
| 30 | 950,1010        | 5,21 |
| 20 | 950,1040        | 5,30 |
| 10 | 1000,1080       | 5,42 |
| 5  | 1020,1060       | 5,54 |
| 0  | 1063            | 5,66 |

Sintez olunmuş ərintilər fiziki-kimyəvi analizin kompleks metodları ilə tədqiq olunmuşdur. Alınmış nəticələrə əsasən sistemin hal diaqramı qurulmuşdur (şəkil 1).

Şəkil 1.  $\text{AgGaS}_2\text{-Pb}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$  sisteminin faza diaqramı

Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{AgGaS}_2\text{-Pb}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$  kəsiyi  $\text{Ag}_2\text{S-Ga}_2\text{S}_3\text{-PbS}$  kvarzüçlü sisteminin kvazibinar kəsiyi olub, sadə evtektik tiplidir.

Sistemin likvidusu  $\epsilon$  və  $\sigma$  bərk məhlullarının ilkin kristallaşma əyrilərindən ibarət olub, tərkibi 45 mol%  $\text{AgGaS}_2$  və temperaturu 950K olan evtektik nöqtədə kəsişirlər. Mikroquruluş və rentgenoqrafik analizlərin nəticələrinə görə  $\text{AgGaS}_2$  əsasında 8 mol%  $\text{Pb}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$  ( $\epsilon$ -bərk məhlullar),  $\text{Pb}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$  əsasında isə 12 mol%  $\text{AgGaS}_2$  bərk məhlul sahəsi ( $\sigma$ -bərk məhlullar) əmələ gəlir. Otaq temperaturunda dəyişən tərkibli fazaların sərhəddi müvafiq olaraq 0-8 və 88-100 mol%  $\text{Pb}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$  təşkil edir. Bərk məhlulların sərhədlərini təyin etmək üçün sistemdə hər iki ilkin komponent tərəfindən 98,96,94,92,90,88,87 mol% tərkibli nümunələr sintez olunmuşdur. Sintez olunmuş nümunələr əvvəlcə 650 daha sonra 800K temperaturda homogenləşdirilmişdir. (Cədvəl 2).

**Cədvəl 2.**

*650 və 800K -də AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> sistemi ərintilərinin homogenləşməsi  
və MQA analizinin nəticəsi*

| Tərkib, mol%       |                                                | 650K, faza tərkibi | 800K, faza tərkibi |
|--------------------|------------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| AgGaS <sub>2</sub> | Pb <sub>2</sub> Ga <sub>2</sub> S <sub>5</sub> |                    |                    |
| 98                 | 2                                              | ε                  | ε                  |
| 96                 | 4                                              | ε                  | ε                  |
| 94                 | 6                                              | ε                  | ε                  |
| 92                 | 8                                              | ε+σ                | ε                  |
| 90                 | 10                                             | ε+σ                | ε+σ                |
| 88                 | 12                                             | ε+σ                | ε+σ                |
| 87                 | 13                                             | ε+σ                | ε+σ                |
| 2                  | 98                                             | σ                  | σ                  |
| 4                  | 96                                             | σ                  | σ                  |
| 6                  | 94                                             | σ                  | σ                  |
| 8                  | 92                                             | σ                  | σ                  |
| 10                 | 90                                             | ε+σ                | σ                  |
| 12                 | 88                                             | ε+σ                | σ                  |
| 13                 | 87                                             | ε+σ                | ε+σ                |

Rentgenoqrafik analiz nəticələrinə görə, 0-8 mol% Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> qatılıq intervalında ε-faza, 9-88 mol% Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> intervalında ε+σ fazaları, 88-100 mol% Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> qatılıq intervalında isə σ fazası kristallaşır.

ε -tipli dəyişən tərkibli fazalar xalkopirit tipində, σ-tipli dəyişən tərkibli fazalar isə ortorombik quruluşda kristallaşırlar:

**Cədvəl 3.**

*AgGaS<sub>2</sub>)<sub>1-x</sub>(Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub>)<sub>x</sub> tərkibli bərk məhlulların kristalloqrafik parametrləri*

| Tərkib, mol%<br>Pb <sub>2</sub> Ga <sub>2</sub> S <sub>5</sub> | Kristall qəfəsin parametrləri, Å |        |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------|
|                                                                | a                                | b      |
| 0                                                              | 5,754                            | 10,299 |
| 0,02                                                           | 5,762                            | 10,304 |
| 0,04                                                           | 5,768                            | 10,318 |
| 0,06                                                           | 5,780                            | 10,320 |
| 0,08                                                           | 5,804                            | 10,328 |

Cədvəl 3-dən göründüyü kimi (AgGaS<sub>2</sub>)<sub>1-x</sub>(Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub>)<sub>x</sub> tipli bərk məhlullarda ikinci komponentin miqdarı artdıqca tetroqanal qəfəsin parametrləri artır, (Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub>)<sub>1-x</sub>(AgGaS<sub>2</sub>)<sub>x</sub> tipli bərk məhlullarda isə AgGaS<sub>2</sub>-nin miqdarı artdıqca rombik quruluşlu σ-tipli bərk məhlulların elementar qəfəsin parametrləri kiçilir. (Cədvəl.4).

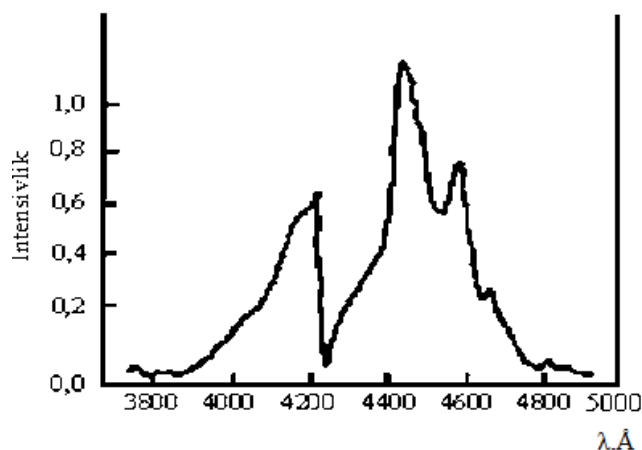
**Cədvəl 4.**

*(Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub>)<sub>1-x</sub>(AgGaS<sub>2</sub>)<sub>x</sub> tərkibli bərk məhlulların kristalloqrafik parametrləri*

| Tərkib, mol%<br>AgGaS <sub>2</sub> | Kristall qəfəsin parametrləri, Å |       |       |
|------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|
|                                    | a                                | b     | c     |
| 0                                  | 12,38                            | 11,90 | 11,03 |
| 0,02                               | 12,37                            | 11,90 | 11,00 |
| 0,04                               | 12,35                            | 11,88 | 10,97 |
| 0,06                               | 12,34                            | 11,86 | 10,96 |
| 0,08                               | 12,33                            | 11,85 | 10,88 |
| 0,10                               | 12,32                            | 11,85 | 10,94 |
| 0,12                               | 12,30                            | 11,84 | 10,90 |

Bu qanunauyğunluq bir-birini əvəz edən Ag və Pb atomlarının ion radiusları ilə ( $\text{Ag}^0=1.31\text{\AA}$   $\text{Pb}^0=1.26\text{\AA}$ ) tam uyğunluq təşkil edir.

Erbiumla (Er) aşqarlanmış  $(\text{Pb}_2\text{Ga}_2\text{S}_5)_{1-x}(\text{AgGaS}_2)_x$  dəyişən tərkibli fazaların Bricmen-Stokbarger metodu ilə monokristalları yetişdirilmiş və onların lüminisensiya xassələri tədqiq olunmuşdur. Tərkibi  $\text{Pb}_{1,96}\text{Ag}_{0,02}\text{Ga}_{1,98}\text{S}_{4,94}\text{Er}_{0,14}$  olan dəyişən tərkibli fazanın lüminisensiya spektri 2-ci şəkildə verilmişdir.



**Şəkil 2.** Erbium ( $\text{Er}^{3+}$ ) ionunun  $\text{Pb}_{1,96}\text{Ag}_{0,02}\text{Ga}_{1,98}\text{S}_{4,94}\text{Er}_{0,14}$  kristalında lüminisensiya spektri.

Göründüyü kimi, erbiumla aşqarlanmış  $\text{Pb}_{1,96}\text{Ag}_{0,02}\text{Ga}_{1,98}\text{S}_{4,94}$  kristalı yüksək lüminisensiya xassəsinə malik olub, lüminisent lampalarının hazırlanmasında, habelə orta infra-qırmızı diapazonda işləyən lazer materialı kimi istifadə oluna bilər.

## ƏDƏBİYYAT

1. Zhoo, Beijun. Growth of  $\text{AgGaS}_2$  single crystal by descending crucible with rotation method and observation of properties / Zhoo Beijun, Zhu Shifu, Li Zhegbui [et al.] // Chinese Soc. Bull. – 2001, vol.146, №3, –pp.2009-2013.
2. Chemla D.S. Silver tiogallate, a new material with potential for infrared devices / D.S.Chemla, P.J.Koracek, D.S.Rubertson [et al.] // Optics Commun. –1991, vol.3, №1, –pp.29-31.
3. Горюнова, Н.А. Сложные алмазоподобные полупроводники / Н.А. Горюнова. –М; Сов.радио, –1968, –с.302.
4. Olekseyuk J.D. Phase equilibria in the quasiternary system  $\text{Ag}_2\text{S-GaS-Ga}_2\text{S}_3$  / J.D.Olekseyuk, O.V.Parasyuk, V.O. Halka [et al.] // J.Alloys and Compounds, –2001, vol.325, № 1, –pp.167-179
5. Singh, N.B. Effect of annealing on optical quality of  $\text{AgGaS}_2$  single crystals / N.B.Singh [et al.] // J.Mater. science. –1986, vol.21, –pp.837-840,
6. Власенко, О.И Термoeлектрические свойства соединений  $\text{PbS}$  и  $\text{PbSe}$  / О.И.Власенко, С.М. Левицкий, Ц.А.Криокков //Физ.Тв.тела, – 2006, т.7, № 4, –с.660-662.
7. Brand G. Thy  $\text{Ag}_2\text{S-Ga}_2\text{S}_3$  system / G.Brand, V. Kramer // Mater.Res.Bull. –1976, №11, – pp.1381-1388.
8. Угай Я.А. Введение в химию полупроводников / Я.А. Угай. –М.: Высшая школа, –1975, – 302 с.
9. Самсонов, Г.В. Сульфиды / Г.В.Самсонов, С.В.Дроздова. –М.: Металлургия, –1972, –404с.
10. Заргарова, М.И. Неорганические вещества, синтезированные и исследованные в Азербайджане/ Справочник / М.И.Заргарова, А.Н.Мамедов, Д.С.Аждарова [и др.] –Баку: Элм, –2004, –462 с.
11. Бадиков, Д. Новый низкофононный кристалл тиогаллата свинца / Д.Бадиков, В.Бадиков, М. Дорошенко [и др.] // ФОТОНИКА . –2008. №4. –с.24-27

12. Baojun, Chen. Differential thermal analysis and crystal growth of AgGaS<sub>2</sub>. / Baojun Chen., Shifu Zhu., Beijun Zhao [et al.] // J. Crystal Growth. –2008. V. 310. N 3. –pp. 635-638. DOI: 10.1016/j.jcrysgro. 2007.10.067.
13. Sinyakova, E.F. Oriented crystallization of AgGaS<sub>2</sub> from the melt system Ag-Ga-S / E.F.Sinyakova, V.I.Kosyakov, K.A.Kokh // J.In-org. Mater. –2009. V.45, N11. –pp.1217-1221. DOI:10.1134/S0020168509110041.
14. Chykhrij, S.I. Crystal structure of the new quaternary phase AgCd<sub>2</sub>GaS<sub>4</sub> and phase diagram of the quasibinary system AgGaS<sub>2</sub>-CdS / S.I.Chykhrij, O.V.Parasyuk, V.O.Halka // J. Alloys Comp. –2000. V. 312. N 1-2. –pp. 189-195. DOI: 10.1016/S0925-8388(00)01145-2.
15. Olekseyuk I.D. Phase equilibria in the quasi-ternary system Ag<sub>2</sub>S-CdS-Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub> / I.D.Olekseyuk, O.V.Parasyuk, V.O.Halka [et al.] // J. Alloys Comp. –2001. V.325, N10. – pp.167-179. DOI: 10.1016/S0925-8388(01)01361-5.
16. Brand, G. Phase equilibrium in the quasi-binary system Ag<sub>2</sub>S-Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub> / G.Brand, V.Kramer // Mater. Res. Bull. –1976. V. 11. –pp.1381-1388.
17. Лазарев, В.Б. Сложные халькогениды в системе A<sup>I</sup>-B<sup>III</sup>-C<sup>VI</sup> / В.Б.Лазарев, З.З.Киш, Е.Ю.Переш [и др.] –М.: Металлургия. –1993. –229 с.

#### РЕЗЮМЕ

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЧЕНИЯ AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> И НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФАЗ ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА

*Мамедов Ш.Г.*

**Ключевые слова:** переменный состав, твердый раствор, AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub>, диаграмма, эвтектика, рентгенофазовый анализ, Ag<sub>2</sub>S-Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-PbS.

Комплексными методами физико-химического анализа (ДТА, РФА, МСА) в широком диапазоне концентраций исследовано сечение AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub>. На основании полученных результатов построена фазовая диаграмма системы. Установлено, что разрез AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> является квазибинарным, а кривые ликвидуса пересекаются в точке эвтектики. Состав точки эвтектики 45 мол. % AgGaS<sub>2</sub> при 950 К. В сечении AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> обнаружена ограниченная область растворимости. На основе AgGaS<sub>2</sub> образуется 8 мол. % Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub>, а на основе Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> – 12 мол. % AgGaS<sub>2</sub> твердые растворы.

#### SUMMARY

#### INVESTIGATION OF THE CROSS SECTION OF AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> AND SOME PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF PHASES OF VARIABLE COMPOSITION

*Mammadov Sh.H.*

**Keywords:** variable composition, solid solution, AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub>, diagram, eutectic, X-ray phase analysis, Ag<sub>2</sub>S-Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-PbS.

The AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> cross section was studied by complex methods of physicochemical analysis (DTA, XFA, MSA) in a wide range of concentrations. Based on the results obtained, a phase diagram of the system was constructed. It has been established that the AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> section is quasi-binary, and the liquidus curves intersect at the eutectic point. The composition of the eutectic point is 45 mol. % AgGaS<sub>2</sub> at 950 K. A limited solubility region was found in the AgGaS<sub>2</sub>-Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> cross section. Based on AgGaS<sub>2</sub>, 8 mol. % Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub>, and based on Pb<sub>2</sub>Ga<sub>2</sub>S<sub>5</sub> - 12 mol. % AgGaS<sub>2</sub> solid solutions.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 10.05.2022 |
|                   | Son variant   | 29.07.2022 |

## SYNTHESIS OF METAL SALTS OF SYNTHETIC PETROLEUM ACIDS AND STUDY AS ROAD BITUMEN ADDITIVES

MUSALY VAFA KHAYYAT [ORCID](#)

*Academician Y.H.Mammadaliyev Institute of Petrochemical Processes,*

*Baku, Azerbaijan, PhD student*

*[vefalepu@mail.ru](mailto:vefalepu@mail.ru)*

**Keywords:** *liquid phase oxidation, synthetic petroleum acids, diesel fraction, metal salts of organic acids, bitumen, additives*

### Introduction.

The demand for road bitumen construction is growing day by day due to the development of economy. Bitumen is widely used in road construction in developed countries [1]. It's important modifying bitumen for highway construction regardless of petroleum on which it was obtained. Low quality bitumen significantly reduces service life of road surface. One of the main reasons is very poor adhesion of bitumen to gravel and other aggregates. The main conditions for improving bitumen quality are its high adhesion properties as a binder, as well as the expansion of the plasticity range to ensure resistance to cracks at low temperatures, the resistance to plastic deformation, stability of its properties in the high temperature range.

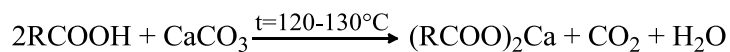
One of the main disadvantages of petroleum bitumen is poor adhesion of mineral materials to the surface that in turn reduces their service life [2-5]. Thus, quality and durability of asphalt-concrete pavements during installation and repair depends significantly on the degree of adhesion of mineral aggregates. One of the main properties of surfactants (SAM) is that SAM molecules can adhere firmly to the surface of the substance, as these molecules are adsorbed by the surface to form a thin layer.

In this regard, a number of adhesion additives are used to improve adhesion of bitumens to gravel - amidoamines, imidazolines, amine compounds and their salts [6-8]. Although extensive research has been conducted on the addition of additives to improve the quality of road bitumens, the development of new, high-quality SAMs for this purpose remains an urgent problem. The effectiveness of adhesion additives depends on the ampholytics of individual polar groups or SAM compositions and chemical structure of non-polar part of these surfactants, that allows them to interact more effectively with the volume of the dispersed phase and the dispersed medium in general [9, 10]

As the development of road bitumens additives is an urgent problem, the main purpose of this work is synthesizing metal salts of synthetic petroleum acids (SPA) and using them as high-quality additives for road bitumens. From this point of view, Ba, Al, Ca, Mn salts of SPA were synthesized by known method and for the first time, the studies were carried out by adding these salts to bitumen as additives in a certain percentage (0.4 and 0.6%).

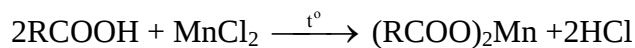
### Experimental Part.

For the purpose of improving road bitumen quality, synthetic petroleum acids (SPA) were taken obtained by liquid phase oxidation of naphthene-paraffinic hydrocarbons separated from the fraction of Azerbaijani oil mixture boiling at 185-330°C with atmospheric oxygen in catalytic presence of transition metal salts [11-14]. Ca, Mn, Ba, Al salts were synthesized on the basis of SPA at the next stage. To synthesize the Ca salt of SPA, rock dust ( $\geq 98\%$   $\text{CaCO}_3$ ) formed in the quarries and SPA were involved in the reaction and calcium salt was directly obtained:

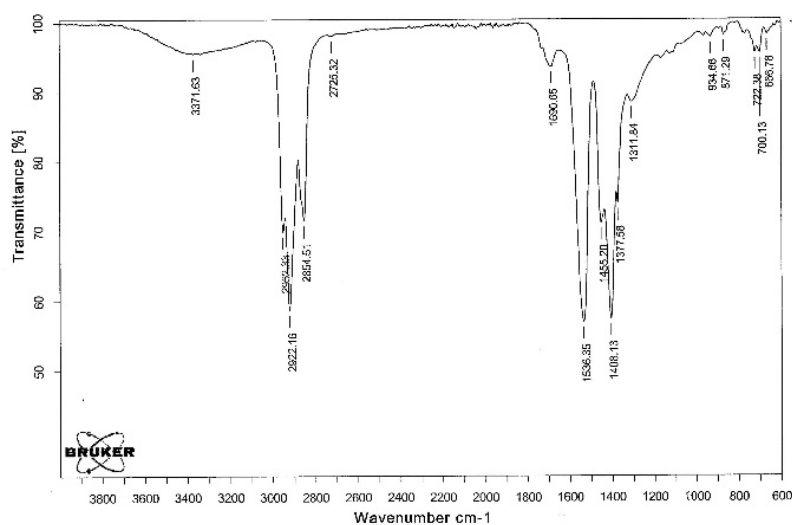


In this case, the alkaline stage of the process was eliminated therefore no need to use expensive sodium hydroxide. Sodium salts weren't obtained as by-products.

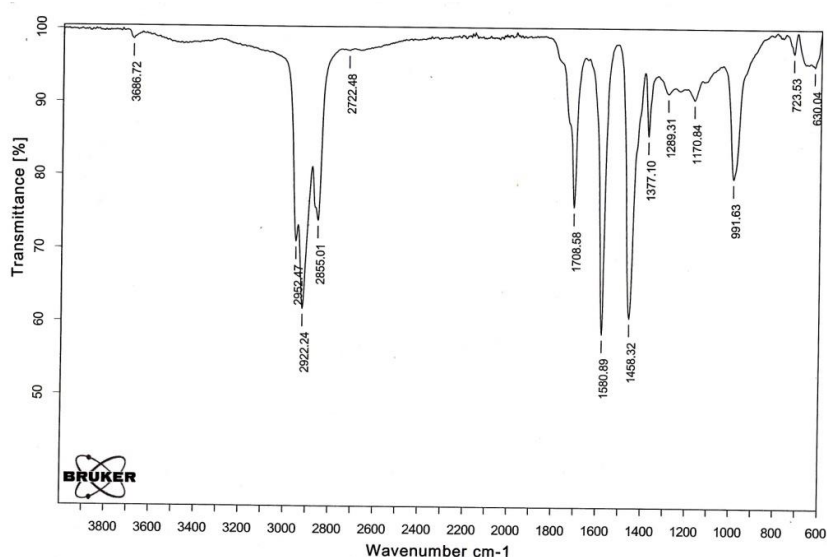
SPA was heated to  $100^\circ\text{C}$  and mixed with a stoichiometric amount of  $\text{MnCl}_2$  to synthesize Mn salt of SPA. The reaction was continued until water vapor formation stops.



Ba and Al salts of SPA were synthesized similarly. IR spectra of SPA Ba and Al salts are presented in Fig. 1.



(a)



(b)

Fig. 1. IR spectra of Ba (a) and Al (b) salts of SPA

Fig. 1 (a) represents: 1377, 1458, 2855, 2922, 2952  $\text{cm}^{-1}$  – deformation and valence vibrations of C-H bond of  $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_2$  and CH groups, 1708  $\text{cm}^{-1}$  – C=O bond of acid, 1580  $\text{cm}^{-1}$  – C-O bond of the  $\text{COO}^-$  group of salt, 723  $\text{cm}^{-1}$  – mathematical vibration of C-H bond of  $\text{CH}_2$  group, 991  $\text{cm}^{-1}$  – COOH group, 1170, 1289  $\text{cm}^{-1}$  – C-O bond, 2722  $\text{cm}^{-1}$  – absorption bands of COOH group.

Fig. 1 (b) represents: 722  $\text{cm}^{-1}$  – mathematical vibration of C-H bond of  $\text{CH}_2$  group, 1311, 1377, 1455, 2854, 2922, 2952  $\text{cm}^{-1}$  – deformation and valence vibrations of C-H bond of  $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_2$  and CH groups, 1408, 1536  $\text{cm}^{-1}$  – valence vibration of C-O bond of  $\text{COO}^-$  group of salt, 3371  $\text{cm}^{-1}$  – valence vibration of OH group. Absorption bands at 1708  $\text{cm}^{-1}$  disappear that is characteristic for carbonyl group of the acid (C=O), and new absorption bands related to C-O bond of  $-\text{COO}^-$  group of carbonic acid are formed at 1408 and 1536  $\text{cm}^{-1}$ . It confirms salt obtaining.

### Results and Discussion.

The road bitumen used as an additive to the bitumen of the synthesized salts was produced at the Heydar Aliyev Baku Oil Refinery and the qualitative properties were set into Tab.1 [15].

**Table 1.**

*Qualitative properties of the road bitumen produced at the Heydar Aliyev Baku Oil Refinery*

| Properties                            | Road bitumen | TS Az 3536601.242-2015 according to the requirements for BNB 50/70 viscous oil road bitumen |
|---------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Penetration depth, 0.1 mm at 25°C     | 48           | 51-70                                                                                       |
| Softening point “sphere and ring”, °C | 48           | 46-54                                                                                       |
| Tension, cm, at 25°C                  | 75           | 50                                                                                          |
| Brittle point, 0°C                    | -18          | -15                                                                                         |
| Adhesion to gravel, points            | 3            | 1, 2, 3 points                                                                              |

Metal salts (Ba, Al, Ca, Mn) of SPA in amount of 0.4 and 0.6% were added to road bitumen and qualitative properties of bitumen were determined (Tab. 2 and 3).

**Table 2.**

*Qualitative properties of various salts synthesized on the basis of SPA and metal salts by adding them to road bitumen in the amount of 0.4%*

| No. | Addition of the synthesized additives to road bitumen, metal salts of SPA | Softening point, °C | Penetration depth, at 25°C | Tension, cm 25°C | Brittle point, °C | Adhesion Point |
|-----|---------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------|------------------|-------------------|----------------|
| 1   | Road bitumen                                                              | 48                  | 48                         | 75               | -18               | 3              |
| 2   | Ba salt of SPA                                                            | 46.8                | 51                         | 32.4             | -14               | 2              |
| 3   | Al salt of SPA                                                            | 46.2                | 51                         | 40.4             | -24               | 2              |
| 4   | Ca salt of SPA                                                            | 46.7                | 51                         | 68               | -16               | 2              |
| 5   | <b>Mn salt of SPA</b>                                                     | <b>46.3</b>         | <b>51</b>                  | <b>57</b>        | <b>-23</b>        | <b>2</b>       |

**Table 3.**

*Qualitative properties of various salts synthesized on the basis of SPA and metal salts in the amount of 0.6%*

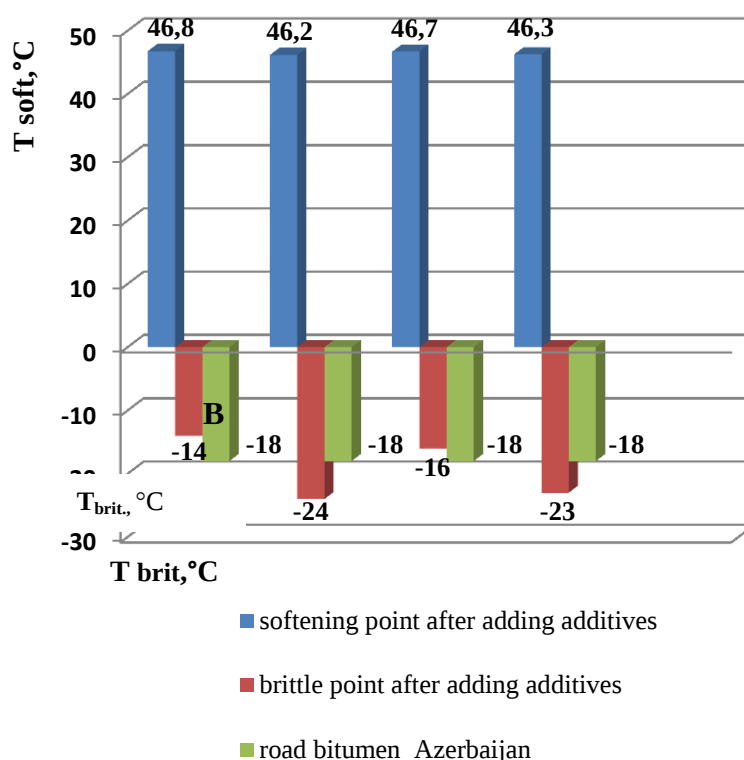
| No. | Addition of the synthesized additives to road bitumen, metal salts of SPA | Softening point, °C | Penetration depth, at 25°C | Tension, cm 25°C | Brittle point, °C | Adhesion Point |
|-----|---------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------|------------------|-------------------|----------------|
| 1   | Road bitumen                                                              | 48                  | 48                         | 75               | -18               | 3              |
| 2   | Ba salt of SPA                                                            | 46.7                | 51                         | 34.4             | -16               | 2              |
| 3   | Al salt of SPA                                                            | 46.4                | 52                         | 38               | -22               | 2              |
| 4   | <b>Ca salt of SPA</b>                                                     | <b>46.5</b>         | <b>51</b>                  | <b>68</b>        | <b>-17</b>        | <b>2</b>       |
| 5   | <b>Mn salt of SPA</b>                                                     | <b>46.2</b>         | <b>51</b>                  | <b>62</b>        | <b>-24</b>        | <b>2</b>       |

Tab. 2 represents, that the best additive effect was obtained by Mn salt of SPA, i.e. Mn salt of SPA improves the performance properties of bitumen more than other samples. Thus, when 0.4% of this additive was added to bitumen, penetration depth at 51°C was 51 mm, tension – 57 cm, softening point – 46.3°C, and brittle point – minus 23.

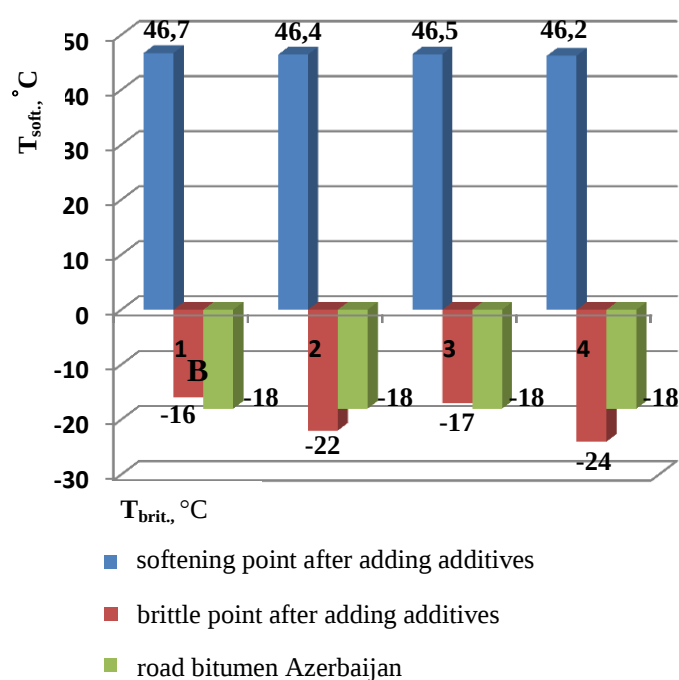
As is evident from Tab. 3, bitumen quality improves by an increase in density. Thus, the number of samples with high additive effect increases: Ca and Mn salts of SPA. Adding 0.6% of these additives causes 51 mm of penetration depth at 25°C, 68 and 62 cm of tension, 46.5°C and 46.4°C of softening points and minus 17°C and minus 24°C of brittle points, respectively.

It should be noted that adding the synthesized salts in concentrations less than 0.4% doesn't result satisfactory, but the results are almost the same in 0.6-1% concentrations. Adding more than 1% of additive isn't economically viable. In this regard, metal salts of SPA were added to bitumen in concentrations of 0.4% and 0.6%. Both tables represent, that addition of small amounts of all synthesized compounds to road bitumen changes the bitumen adhesion from 3 to 2 points. Thus, it can be said that this additive has a satisfactory effect on the bitumen adhesion, as adhesion of Ca and Mn salts of SPA as bituminous additives in the amount of 0.4 and 0.6% varies from 3 to 2 points.

Fig. 2 and 3 show temperature dependence graph of bitumen brittleness on softening point by the addition of Ca, Al, Ba and Mn salts of SPA to road bitumen as additives in the amount of 0.4% and 0.6%.



**Fig. 2.** Temperature dependence graph of bitumen brittleness on softening point by the addition of 0.4% of Ca, Al, Ba and Mn salts of SPA to road bitumen additive



**Fig. 3.** Temperature dependence graph of bitumen brittleness on softening point by the addition of 0.6% of Ca, Al, Ba and Mn salts of SPA to road bitumen as an additive

**Note:** B - softening point of road bitumen

1. Ba salt of SPA

2. Al salt of SPA

3. Ca salt of SPA

4. Mn salt of SPA

### Conclusion.

Various metal salts (Ca, Al, Ba, Mn) were obtained on the basis of synthesized SPA, and addition of them to road bitumen in the amount of 0.4 and 0.6% had a positive effect on bitumen quality. It was found that addition of synthesized salts to road bitumen as an additive in the amount of 0.4% causes a relative improvement in bitumen quality, penetration depth was 51°C at 25°C, tension – 57 cm, brittle point – minus 23°C, and adhesion – 2 points. Bitumen qualitative properties and adhesion were studied by adding 0.6% of SPA metal salts to road bitumen, and it was determined that the Ca and Mn salts had better results: although penetration depth was 48°C in road bitumen, respectively, it varied to 51°C, tension to 68 cm, and brittle point to -24°C at -18°C by adding 0.6% of additive. Adhesion point decreased from 3 to 2. By adding 0.6% of these additives, penetration depth was 51 mm at 25°C, tension – 68 and 62 cm, softening point – 46.5°C and 46.4°C, and the brittle point – minus 17°C and 24°C, respectively.

### REFERENCES

1. Belova, N.A. Bitumen additives / N.A.Belova, L.P.Kortovenko, N.A.Strakhova // Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical sciences. –2018, Vol. 45, No. 3, –pp. 175-184
2. Kishchynskiy, S. Improving Quality and Durability of Bitumen and Asphalt Concrete by Modification Using Recycled Polyethylene Based Polymer Composition/ S.Kishchynskiy, V.Nagaychuk, A.Bezuglyi // Procedia Engineering, –2016, V. 143, –pp. 119-127.
3. Pecheniy B.G. Bitumens and bitumen compositions / B.G. Pecheniy –M.:Khimiya, 1990. – 256 p.

4. Samadova F.I. Obtaining road bitumen from Azerbaijani paraffinous petroleum goudrons / F.I.Samadova, A.A.Allahverdiyev // Oil refining and oil chemistry, –2008, No.5, –pp.43-47.
5. Mardirosova I.V. Additives to asphalt-concrete mixtures of developed at low temperature / I.V.Mardirosova, N.A.Protsenko, S.A.Chernov //News of universities. Construction, –2016, No. 8, –pp. 36-43.
6. Abbasov V. M. The study of compositions prepared on the bases of amidoamines and mineral oil distillates of synthetic petroleum acids as an additive to bitumen/ V.M.Abbasov, L.I.Aliyeva, Hasanov E.K. [et al.] // PPOR, –2021, V.22, № 1, –pp. 172-179.
7. Okhotnikova, S.E. Effect of olefin polymers on the quality of modified bitumen / S.E.Okhotnikova, T.N.Yusupova, Y.M.Ganeyeva [et al.] // Neftepererabotka i neftekhimiya, – 2010, No. 1, –pp. 35-39.
8. Afandiyeva L.M., Aliyeva L.I., Musaly V.Kh. The study of amidoamines obtained on the bases of synthetic petroleum acids as an additive to road bitumen / L. M. Afandiyeva, L. I. Aliyeva, V. Kh. Musali [et al.] // Scientific News. Series for Natural and Technology Sciences. – 2020. – Vol. 20, No. 4. – P. 30-34. – EDN MJGIRE. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44600576>
9. Kudryashov P.A. Study of thermal stability of adhesive additive / P.A.Kudryashov, V.G.Germashev, V.A.Martynov //Proceedings of annual scientific session of Association of researchers of asphalt concrete MADI (GTU). – M., 2011, –pp. 23-31.
10. Rossi, C.O. Adhesion Promoters in Bituminous Road Materials: A Review / C.O.Rossi, B.Teltayev, R.Angelico. // Appl. Sci. –2017, Vol. 7, Issue 5, –524 p.
11. Abbasov, V.M. Aerobic oxidation of naphthene-paraffinic hydrocarbons of petroleum in the presence of  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  modified by transition metals / V.M.Abbasov, L.I.Aliyeva, L.M.Afandiyeva [et al.] // PPOR, –2020, Vol. 21, No. 1, –pp.80-89.
12. Purohit, S. Paraffin Oxidation in a Foam Reactor / Purohit S., Milind Pradhan, Kanaad Akut [et al.] // International journal of Engineering Research and Technology, –2012, v.5, №1, –pp.81-98.
13. Aliyeva L.İ. Synthesis and catalytic activity of the complexes of 1,3-diphenyltriazenes of manganese and cobalt in the Reaction of oxidation of petroleum hydrocarbons / L.İ.Aliyeva, E.A.Guliyeva, L.M.Afandiyeva [et al.] // PPOR, –2020, Vol. 21, No. 1, –pp. 26-35.
14. Afandiyeva, L.M. Catalytic oxidation of petroleum naphthene-paraffinic fraction in the presence of  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  modified by Cr-, Co-, Mn-salts / L.M.Afandiyeva, M.J.Ibrahimov, G.Y.Rustamli [et al.] // Chemical Problems, –2019, No.2 (17), –pp.323-329.
15. Aliyeva L.I., Afandiyeva L.M., Musaly V.Kh., et al. Nitrogen derivatives of synthetic naphthene acids as road bitumen additives / L.I.Aliyeva, L.M.Afandiyeva, V.Kh.Musaly [et al.] //Uzbek Chemical Journal, –2020, No. 4, –pp. 85-89.

**XÜLASƏ**  
**SİNTETİK NEFT TURŞULARININ METAL DUZLARININ SİNTEZİ**  
**VƏ YOL BİTUMUNA AŞQAR KİMİ TƏDQİQİ**  
**Musali V.X.**

**Açar sözlər:** maye fazada oksidləşmə, sintetik neft turşuları, dizel fraksiyası, üzvi turşuların metal duzları, bitum, aşqarlar

Azərbaycan neftləri qarışığının dizel fraksiyasından ayrılmış naften-parafin karbohidrogenlərinin keçid metalların duzlarının katalitik iştirakında aerob oksidləşməsindən alınan sintetik neft turşuların üzrə Ca-, Al, Ba-, Mn- duzları sintez edilmişdir. Yol bitumunun keyfiyyət göstəricilərini yaxşılaşdırmaq məqsədilə həmin duzlardan yol bitumlarına yüksəkkeyfiyyətli aşqarlar kimi istifadə edilmişdir. Bu məqsədlə sintez edilmiş duzlar 0,4% və 0,6% miqdarında bituma əlavə olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, həmin duzların bituma əlavə olunması adgeziyanı 3 baldan 2 bala qədər dəyişir. Bitumun keyfiyyət göstəricilərinə əsasən qeyd etmək olar ki, SNT-nin Mn duzu bituma 0,4% əlavə edildikdə 25°C-də iynəbatma dərinliyi 51mm, dartılma 57sm, yumşalma temperaturu 46,3°C kövrəklik temperaturu mənfi 23°C təşkil edir. SNT-nin metal duzlarını yol bitumuna 0,6% əlavə etdikdə bitumun keyfiyyət göstəriciləri xeyli yaxşılaşır. Bu

halda Mn duzu ilə yanaşı, Ca duzunun da nəticələri yüksək olur. Bu aşqarların 0,6% əlavəsi zamanı 25°C-də iynəbatma dərinliyi 51mm, dartılma 68 və 62sm, yumşalma temperaturu 46,5°C və 46,4°C, kövrəklik temperaturu isə, mənfi 17°C və mənfi 24°C qiymətlər alır.

**РЕЗЮМЕ**  
**СИНТЕЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЛЕЙ СИНТЕТИЧЕСКИХ НЕФТЯНЫХ КИСЛОТ И**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ В КАЧЕСТВЕ ПРИСАДОК К ДОРОЖНЫМ БИТУМАМ**  
*Мусалы В.Х.*

**Ключевые слова:** жидкофазное окисление, синтетические нефтяные кислоты, дизельная фракция, соли металлов органических кислот, битумы, присадки.

Синтезированы Са-, Al-, Ва-, Мп-вые соли синтетических нефтяных кислот (СНК), полученных аэробным окислением нафтен-парафиновых углеводородов, которые были выделены из дизельной фракции азербайджанской нефтяной смеси в присутствии катализаторов – солей переходных металлов. Эти соли использовали в качестве присадок к дорожным битумам с целью улучшения их качества. В битум добавляли 0.4% и 0.6% синтезированных для этой цели солей. Установлено, что добавление этих солей к битуму изменяет адгезию с 3 до 2 баллов. Исходя из качественных свойств битума, можно отметить, что при добавлении 0.4% Мп-вой соли СНК в битум, глубина проникновения иглы при 25°C составила 51 мм, растяжение – 57 см, температура размягчения – 46.3°C, температура хрупкости – минус 23°C. Введение в дорожный битум 0.6% металлических солей СНК значительно улучшает качество битума. Кроме того, наряду с Мп-вой солью СНК, результаты Са-вой соли СНК также были высокими. При добавлении 0.6% этих присадок в битум глубина проникновения иглы при 25°C составила 51 мм, растяжение – 68 и 62 см, температура размягчения – 46.5°C и 46.4°C, температура хрупкости – минус 17°C и минус 24°C, соответственно.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 12.08.2022 |
|                   | Son variant   | 19.12.2022 |

## ROBINIA PSEUDOACACIA L. – NIN ABŞERON ŞƏRAİTİNDƏ MEYVƏ MƏHSULDARLIĞI, TOXUMLARIN CÜCƏRMƏ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

**SADIQOVA DİLŞAD OKTAY qızı**

*Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, Bakı, Azərbaycan, baş müəllim*

[sadiqova.d@mail.ru](mailto:sadiqova.d@mail.ru)

*Açar sözlər:* meyvə, toxum, məhsuldarlıq, cücərmə xüsusiyyətləri, həyatilik qabiliyyəti

Bitkilərin meyvə və toxum məhsuldarlığının hesablanması onların toxumla çoxaldılması üçün vacib məsələlərdən biridir. Belə ki, adətən bitkilər hər il kifayət qədər meyvə və toxum məhsulu vermir. Bu baxımdan bitkilərin meyvə və toxum məhsuldarlığını hesablayaraq gələcək illər üçün toxum ehtiyatının toplanılması vacib məsələlərdən biridir [1; 2].

Qeyd olunanları nəzərə alaraq, Robinia pseudoacacia L. – yalançı akasiya robiniyasının Abşeron şəraitində meyvə məhsuldarlığı və toxumlarının cücərmə xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi qarşımıza məqsəd qoyulmuşdur.

R. pseudoacacia L. işıqsevən, quraqlığa çox davamlı olmaqla yanaşı, torpağa çox tələbkar da deyil. Şoranlığa nisbətən dözümlüdür. Çox dekorativ bitkidir. Şəhər şəraitində dözümlüdür. R. pseudoacacia L. - dan meşə zolaqları salmaq üçün də geniş istifadə olunur. R. pseudoacacia L. həmçinin yaxşı balverən bitkidir. Bir ağac 14,7 kq-adək yüksək keyfiyyətli və ətirli bal verir. [3;4].

Quru subtropik iqlimə malik olan Abşeron yarımadasında apardığımız tədqiqatlar göstərmişdir ki, ilin konkret hava şəraitindən, xüsusən də temperaturun və atmosfer çöküntülərinin miqdarından asılı olaraq R. pseudoacacia L. nümayəndələrinin meyvə məhsuldarlığı dəyişkənliyə məruz qalır. Müəyyən olunmuşdur ki, meyvə məhsuldarlığı nəinki növdən asılı olaraq dəyişir, həmçinin bir növə aid olan fərdlərin də məhsuldarlığında nəzərə cərpacaq dərəcədə fərq olur (cədvəl 1).

### Cədvəl 1.

*Abşeron şəraitində becərilən Robinia pseudoacacia L. – nın meyvə məhsuldarlığı və onun statistik göstəriciləri*

| Fərd və statistik göstəricilər   | Məhsuldarlıq, q-la                                     | Say, ədədlə                                             |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1                                | 88,8                                                   | 330                                                     |
| 2                                | 80,5                                                   | 394                                                     |
| 3                                | 76,8                                                   | 362                                                     |
| $\bar{x}$ – orta qiymət          | 82,03                                                  | 362,0                                                   |
| $S^2$ – dispersiya               | 37,76                                                  | 1024,0                                                  |
| S – orta kvadratik kənarlanma    | 6,15                                                   | 32,0                                                    |
| $S\bar{x}$ – orta kvadratik səhv | 3,55                                                   | 18,48                                                   |
| P – dəqiqlik əmsali              | 4,32                                                   | 5,10                                                    |
| V – variasiya əmsali             | 7,49                                                   | 8,83                                                    |
|                                  | $\bar{x} \pm t_{0,05} \cdot S\bar{x} = 82,03 \pm 7,42$ | $\bar{x} \pm t_{0,05} \cdot S\bar{x} = 362,0 \pm 38,62$ |

Toxumların əsas keyfiyyət göstəricisi onların cücərmə faizi olduğundan introduksiya edilmiş bitkilərin toxumlarının cücərmə xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi həm nəzəri, həm də mühüm tətbiqi əhəmiyyət kəsb edir [5;6;7;8].

Bu baxımdan Abşerona introduksiya edilmiş *Robinia pseudoacacia* L. – nın toxumlarının cücərmə xüsusiyyətlərinin tədqiq edilməsi qarşıya məqsəd qoyulmuşdur. Tədqiqatlar aparılarkən toxumlar müxtəlif temperatur şəraitində termostatlarda cücərmə üçün qoyulmuşdur (cədvəl 2).

**Cədvəl 2.**

*Robinia pseudoacacia* L. toxumlarının temperaturdan asılı olaraq cücərməsi

| 20°C       |                |                 | 25°C      |                |                 | 30°C       |                |                 |
|------------|----------------|-----------------|-----------|----------------|-----------------|------------|----------------|-----------------|
| Cüc-mə %-i | Cüc-mə müddəti | Cüc-mə enerjisi | Cüc-mə %i | Cüc-mə müddəti | Cüc-mə enerjisi | Cüc-mə %-i | Cüc-mə müddəti | Cüc-mə enerjisi |
| 70         | 10             | 35              | 80        | 10             | 40              | 53         | 13             | 10              |

Aparılan tədqiqatlar göstərmişdir ki, *R. pseudoacacia* L. toxumlarının cücərməsi üçün optimal temperatur 20° -25° C-dir. Belə ki, bu növün toxumları 20°C-də 70% cücərdiyi halda, 25° C-də 80%, 30°C-də isə 53% cücərmişdir. *R. pseudoacacia* L. toxumlarının cücərmə enerjisi də 20° - 25°C-də müvafiq olaraq 35-40% olduğu halda 30°C-də 10% -ə enir. Cücərmə üçün qoyulmuş toxumların cücərmə müddəti də temperaturdan asılı olaraq dəyişilir. Belə ki, 20°C və 25°C-də cücərmə üçün qoyulan toxumların cücərmə müddəti 10 gün təşkil etdiyi halda 30°C –də cücərmə müddəti 13 gün təşkil etmişdir.

*R. pseudoacacia* L. – nın toxumlarını yazda və payızda quru halda torpaq mühitinə səpdikdə onlar az cücərti veirlər. Belə ki, 7-252 gündən sonra bu növün toxumlarının torpaqdan cücərməsi cəmi 8% təşkil etmişdir. Ona görə də bu toxumların cücərməsini sürətləndirmək üçün onları səpindən qabaq müxtəlif üsullarla (skarifikasiya, stratifikasiya) işləmək lazımdır [2;5;6;7;8]. Bu məqsədlə tədqiq etdiyimiz bitkinin toxumları müxtəlif müddətlərdə qaynar suda və 1-3 gün ərzində adi suda saxlandıqdan sonra nəzarət (işlənməmiş) toxumlarla yanaşı cücərmə üçün termostata qoyulmuşdur (cədvəl 3).

**Cədvəl 3.**

*Qaynar su ilə işlənmə müddətindən asılı olaraq R. pseudoacacia L. toxumlarının cücərməsi, %-lə*

| Nəzarət toxumları | Otaq T-lu suda saxlanılmış toxumlar |       | Qaynar su ilə işlənmə müddəti |         |         |        |        |         |         |               |
|-------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------------|
|                   | 1 gün                               | 3 gün | 5 san.                        | 15 san. | 30 san. | 1 dəq. | 5 dəq. | 10 dəq. | 30 dəq. | Tam soyuyanaq |
| 3                 | 9                                   | 16    | 27                            | 32      | 30      | 22     | 18     | 15      | 10      | 6             |

Qeyd etmək lazımdır ki, bütün variantlarda daha yüksək nəticə əldə etmək üçün qaynar suda saxlanılmış toxumları təkrar olaraq yenidən qaynar su ilə elə həmin temperaturda işləmək lazım gəlmişdir (3 dəfə). Bunun üçün hər dəfə toxumları qaynar su ilə işlədikdən sonra onların içərisindən şişmiş toxumları ayıraraq cücərmə üçün qoymaq, yerdə qalan toxumlar üzərində isə yenidən müvafiq müddətdə bu əməliyyatı təkrar etmək lazımdır (cədvəl 4).

**Cədvəl 4.**

*Robinia pseudoacacia* L. toxumlarının qaynar su ilə işləndikdən sonra cücərməsi

| İşlənmə sırası | İşlənmə müddətindən asılı olaraq toxumların cücərmə faizi |         |         |        |        |         |         |
|----------------|-----------------------------------------------------------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|
|                | 5 san.                                                    | 15 san. | 30 san. | 1 dəq. | 5 dəq. | 10 dəq. | 30 dəq. |
| I              | 27                                                        | 32      | 30      | 22     | 18     | 15      | 10      |
| II             | 11                                                        | 23      | 7       | 7      | 5      | 3       | 2       |
| III            | 9                                                         | 15      | 1       | -      | -      | -       | -       |
| Cəmi           | 45                                                        | 70      | 38      | 29     | 23     | 18      | 12      |

Toxumların səpinə hazırlanması üçün səpinqabağı işlənmə üsullarından biri də onların qatı sulfat turşusu ilə işlənmə üsuludur. Bu üsulda da əsas məqsəd robiniya toxumlarının sərt qabığını yumşaltmaq və məsaməli etməkdir. *R. pseudoacacia L.* toxumları tərəfimizdən müxtəlif variantlarda turşu ilə işləndikdən sonra cücərmə üçün 20<sup>0</sup> C-də termostata qoyulmuş və mütamadi olaraq müşahidələr aparılmışdır (cədvəl 5).

**Cədvəl 5.**

*Robinia pseudoacacia L. toxumlarının qatı sulfat turşusu ilə işləndikdən sonra cücərməsi*

| İşlənmə müddətindən asılı olaraq toxumların cücərmə faizi |         |         |         |         |         |          |
|-----------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 5 dəq.                                                    | 10 dəq. | 20 dəq. | 40 dəq. | 60 dəq. | 90 dəq. | 120 dəq. |
| 16                                                        | 25      | 35      | 34      | 50      | 41      | 20       |

Müşahidələr zamanı müəyyən olunmuşdur ki, toxumlar bir dəfə qatı sulfat turşusu ilə işləndikdə onların hamısı cücərmir. Buna səbəb toxumların müxtəlif yetişmə dərəcəli olması və onların qabığının qalınlığı və sərtliyidir. Ona görə də bu toxumları 5-120 dəq. ərzində qatı sulfat turşusu ilə işlədikdən sonra variantdan asılı olaraq onların cücərmə faizi 16-50 % təşkil edir. Cücərməmiş toxumlar təkrarən qatı sulfat turşusu ilə yuxarıda göstərilən variantlar üzrə ikinci dəfə işləndikdən sonra 60-120 dəq. variantlarındakı toxumların hamısı cücərmişdir. 5-40 dəq. variantlarındakı toxumların tam cücərməsi üçün isə onlar üçüncü dəfə eyni qayda ilə işlənməlidirlər. Qatı sulfat turşusu ilə işlənmiş toxumların cücərmə müddəti bir dəfə işlədikdə 32 gün təşkil etdiyi halda, ikinci işlənmədən sonra 6 gün, üçüncü işlənmədən sonra isə 4 gün olur.

## ƏDƏBİYYAT

1. Чепик, Ф.А. Плоды и семена древесных растений / Ф.А.Чепик. –Л.: Лесотехническая Академия, –1981. –72 с.
2. Егорова Н.Н. Методы определения жизнеспособности семян // Сельскохозяйств. биология. – 1994. № 3. –С. 134-141.
3. Бученков И.Э. Декоративная дендрология: краткий курс лекции. Ч. 1-3. / И.Э. Бученков – Пинск: ПолесГУ, –2012 -13. – 96 с., –115с., –187с.
4. Qədimov V.Ə. Gədəbəy rayonunun əsas bal və çiçək tozu verən bitkiləri/ V. Ə. Qədimov, T. A. Xəlilov, G.Y. Ələkbərli, K.Q.Mhərrəmov // SDU. Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bilməsi. – 2021. – Vol. 21, No. 1. – pp.58-64. – EDN ICETNW.  
<https://elibrary.ru/item.asp?id=46196412>
5. Методическое указание по семеноведению интродуцентов / –М.: Наука, –1980, –62 с.
6. Николаева, М.Г. Справочник по проращиванию покоящихся семян / М.Г.Николаева, М. В.Разумова, В.Н.Гладкова. –Л.: Наука, –1985, –245 с.
7. Спиров, Г.М. Экспериментальное исследование влияния электрофизических факторов на жизнеспособность посевного материала / Г.М.Спиров, Ю.В.Валуева, В.Г.Меркулова [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2008.– № 6. – С. 21-29.
8. Николаева, М.Г. Роль температуры и фитогормонов в нарушении покоя семян / М.Г.Николаева, С.Ф.Ляшук, В.Э.Озолс [и др.] –Ленинград: Наука, –1981, –159 с.

## РЕЗЮМЕ

### УРОЖАЙНОСТЬ ПЛОДОВ И ХАРАКТЕРИСТИКА ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН ROBINIA PSEUDOACACIA L. В УСЛОВИЯХ АБШЕРОНА

*Садыгова Д.О.*

**Ключевые слова:** плод, семя, продуктивность, всхожесть, жизнеспособность.

Растения не приносят одинаковое количество плодов и семян каждый год. В связи с этим одним из важных вопросов является сбор семенного фонда на ближайшие годы путем расчета плодово-семенной продуктивности растений. Поскольку основным показателем качества семян

является процент их всхожести, то изучение особенностей всхожести семян интродуцированных растений имеет как теоретическое, так и важное практическое значение. Изучение периода сохранения жизнеспособности семян имеет также большое научное и экспериментальное значение.

**SUMMARY**  
**YIELD OF FRUITS AND CHARACTERISTIC OF GERMINATION OF ROBINIA**  
**PSEUDOACACIA L. SEEDS UNDER ABSHERON CONDITIONS**

*Sadiqova D.O.*

**Key words:** *fruit, seed, productivity, germination, viability*

Plants do not produce the same number of fruits and seeds each year. In this respect, one of the important issues is the collection of seed stock for the coming years by calculating the fruit and seed productivity of plants. Since the main indicator of seed quality is the percentage of their germination, the study of the characteristics of the germination of seeds of introduced plants is of both theoretical and practical importance. The study of the viability period of seeds is also of great scientific and experimental importance.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | Ilkin variant | 02.12.2022 |
|                   | Son variant   | 24.01.2023 |

UOT 551.582

DOI 10.54758/16801245\_2023\_23\_4\_64

## URBAN AIR POLLUTION FROM VEHICLE OPERATION

<sup>1</sup>AGHAYEV TAHIR DOVLET [ORCID](#)<sup>2</sup>ABDULOV KAMIL SHAMIL<sup>1</sup>Sumqayıt State University, Sumqayıt, Azerbaijan, 1-professor, 2- PhD[aqayev\\_tahir@mail.ru](mailto:aqayev_tahir@mail.ru)

**Key words:** environment, atmosphere, emissions of pollutants, unfavorable situation, means of transportation, industrial cities

*The article considers urban air pollution from vehicle operation. The protection of atmospheric air from the harmful effects resulting from the use of vehicles is extremely important. It was revealed that compared to 1995, when the number of cars was only 398,761 units, in 2020 this number increased to 1,473,563 units, of which 655,422 units were in Baku. In cities, there is a growing discrepancy between the number of cars and the capacity of the road network. Restoration of the tram and trolleybus fleet can significantly reduce the environmental burden in developed industrial cities*

**1.Introduction.** The negative impact of anthropogenic factors on the environment is today a problem requiring a priority solution. Protecting the atmosphere from harmful effects resulting from the operation of motor vehicles, industrial enterprises and other facilities is extremely relevant. Since not only human health, but also the overall quality of life on the planet depends to the greatest extent on the quality of atmospheric air.

Every year the number of motor vehicles is growing, heating systems of the private sector are being improved, the emissions of which are carried out into the surface layer of the atmosphere above the territory of industrial centers, new technologies for combating harmful emissions are emerging, but, despite this, the quality of atmospheric air leaves much to be desired. Therefore, the development of methodologies for reducing emissions of pollutants, means of monitoring and managing the level of pollution in order to reduce the anthropogenic impact on the atmosphere is currently very relevant. The article discusses the role of road transport in air pollution of the industrial cities of Azerbaijan [1-7].

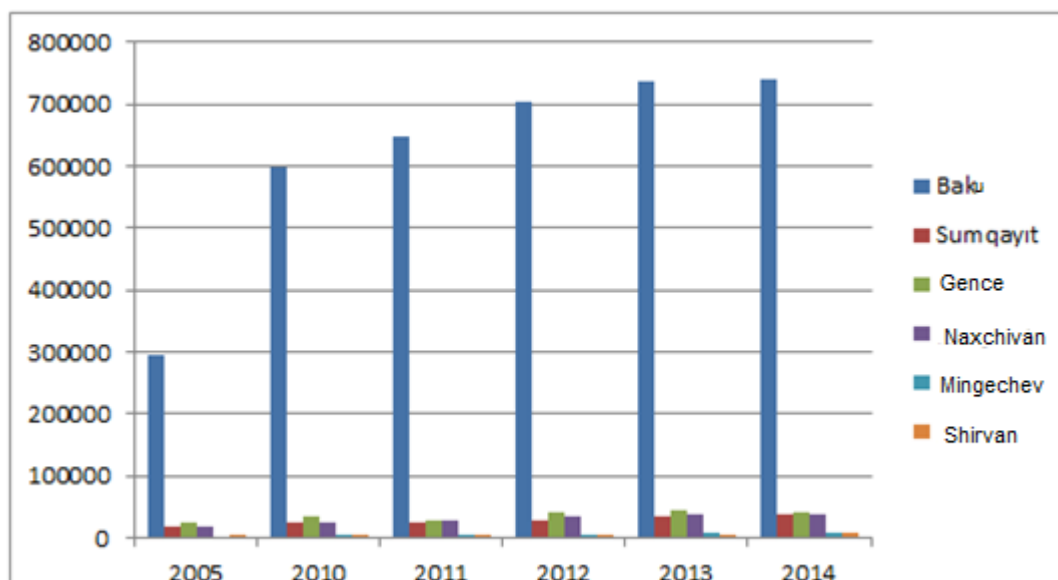
The danger of living in cities today is largely determined by the emissions into the environment of fuel combustion products in the cylinders of internal combustion engines of motor vehicles, harmful (polluting) substances that are hazardous to the health of people who have been in the zone of exhaust gases and fuel vapors for a long time. Under unfavorable meteorological conditions that prevent natural air purification from harmful vehicle emissions, adverse conditions (unfavorable situation) may develop for people whose life activity takes place in close proximity to highways [4,8-10]. As monitoring studies show, such unfavorable situations arise due to the unfavorable summation of a number of man-made and natural factors (due to the technical condition of road transport, its composition, traffic intensity, landscape topography, number of storeys and the nature of urban development), as well as meteorological and climatic parameters of the area in which the motorway is located.

**2. Practical part.** In recent years, a sharp increase in the number of vehicles has been observed in large cities of Azerbaijan. Compared to 1995, when the number of vehicles was only 398,761 units, in 2020 this number increased to 1,473,563 units, of which 655,422 units were in

Baku. Moreover, in comparison with other means of transportation, passenger vehicles have an advantage, the number of which has increased to 1204682[11-13].

Due to the rapid development of motor transport in the republic, pollution from these vehicles significantly exceeds the volume of harmful industrial emissions, which are mainly concentrated in cities. In 2020, 807.7 thousand tons of harmful emissions entered the air basin of the republic, of which about 82.0% accounted for only vehicles, and the rest for stationary sources of air pollution. Because of the increasing number of vehicles in the country annually contributes to the pollution of cities. The automobile transportation and relevant infrastructure facilities have a negative impact on all aspects of the surrounding natural environment. As a result of exploitation of vehicles, roads, automobile service areas pollution of land, underground and surface water basins occurs, high level of sound pressure is observed near motor roads [1,2,6].

Every year, at least one hundred thousand cars are brought to Azerbaijan for sale, most of which (526,744) remain in Baku. In 2014, the total volume of emissions of polluting substances (PS) into the atmosphere from vehicles was 5.1 times higher than from stationary sources [13]. More than half (more than 57.3%) of the vehicles registered in the country are concentrated in Baku (Fig.1).



**Fig. 1.** The number of vehicles in the cities of the country over the years

As shown in Table 1, the growth of different-purpose vehicles is uneven. The largest increase in 2005-2014 is observed on passenger car and personal cars. Over the last ten years, their number has grown more than twice, and this trend continues. There is also a noticeable increase in the number of buses.

**Table 1.**

*The number of vehicles registered in Baku city*

| Years | Truck | Buses | Passenger car | Personal car | Special auto |
|-------|-------|-------|---------------|--------------|--------------|
| 2005  | 27115 | 14681 | 247728        | 231580       | 4250         |
| 2010  | 51646 | 18026 | 518205        | 487865       | 6650         |
| 2011  | 56333 | 18315 | 562695        | 529387       | 6546         |
| 2012  | 61130 | 18745 | 609426        | 573055       | 8271         |
| 2013  | 60098 | 18795 | 643155        | 605455       | 9335         |
| 2014  | 64029 | 18524 | 645244        | 600053       | 6999         |

The increase in the number of these types of vehicles is due to the abolition of tram and trolleybus vehicles, opening new routes to expand the city's territory, and so on. Compared to 2005, the number of trucks is noticeably higher in 2014. This process is due to a significant increase in capital city construction [13].

In recent years, the number of PS emitted from the car transport across the country has also increased. This increase in car waste is due to both the increase in the number of vehicles and the use of them (Table 2).

**Table 2.**

*Emissions of pollutants into the atmosphere from vehicles (hundred tons)*

| Emissions of pollutants into the atmosphere | The amount of PS emitted into the atmosphere, hundred t / y |              |              |              |              |              |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                             | 2005                                                        | 2010         | 2011         | 2012         | 2013         | 2014         |
| 1                                           | 2                                                           | 3            | 4            | 5            | 6            | 7            |
| <b>Country including:</b>                   | <b>496,4</b>                                                | <b>742,0</b> | <b>779,1</b> | <b>849,3</b> | <b>922,4</b> | <b>965,9</b> |
| carbon oxides                               | 353,7                                                       | 528,3        | 554,7        | 604,7        | 645,6        | 700,3        |
| nitrogen oxides                             | 41,6                                                        | 62,3         | 65,4         | 71,3         | 84,5         | 91,1         |
| hydrocarbons                                | 67,6                                                        | 101,7        | 106,7        | 116,3        | 141,9        | 151,8        |
| Specific pollutions                         | 33,5                                                        | 49,7         | 52,2         | 57,9         | 50,4         | 22,7         |
| Including smokeblck and soot                | x                                                           | x            | x            | x            | 26           | 22,7         |

It was determined that about 200 nearest chemicals, as well as non-toxic (water, carbon dioxide), and toxic substances, arise from the burning of fuel (table 3). First and foremost, this is carbon dioxide (CO), various hydrocarbons (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), as well as lead compounds, carcinogens, fats and aldehydes. The components of the smoke gases and their quantity depend on the type and quality of the fuel used, the quality of the adjustment, the degree of engine handling and the operating mode. Thus, the largest amount of aldehydes occurs when the fuel engine is low at low temperatures, ie low load and idle mode. Table 3 presents the approximate content of major toxic substances in the smoky gases in cars.

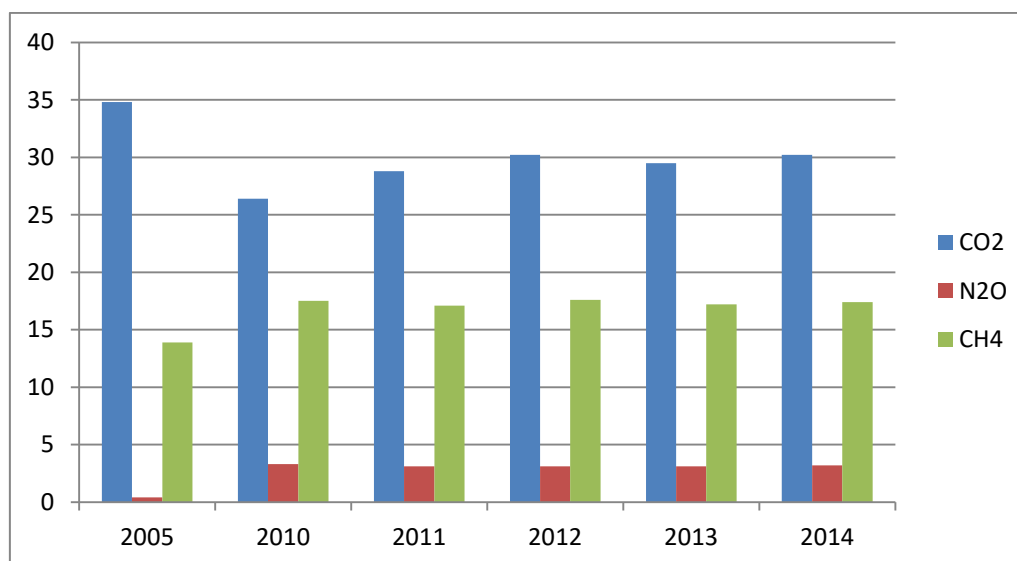
It should be noted that along with the increase in the car park, a large amount of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in the smoke gases of cars intensively increases the atmosphere's contamination (Fig.2). This gas plays a key role in the formation of greenhouse effect, and its elimination has now become a global problem.

**Table 3.**

*Specific weight of hazardous substances thrown out from the minibus cars [11]*

| Toxic substances                     | Gasoline engines | Diesel engines |
|--------------------------------------|------------------|----------------|
| Carbon oxide, g / kg fuel            | 250,0            | 13,6           |
| Hydrocarbons, g / kg fuel            | 31,0             | 3,0            |
| Nitrogen oxides, g / kg fuel         | 30,0             | 40,0           |
| Sulfur dioxide, g / kg fuel          | 0,54             | 1,6            |
| Methane is on the q / kilometer road | Till 0,18        | 0,005          |
| Ammonia, in q / km                   | 0,002            | 0,001          |

The level of carbon dioxide emissions depends on the mode of transportation, engine type, vehicle fuel consumption, etc. UN Standard No. 101 (Directive 93/116/EEC). The tests carried out according to the methodology have shown that the fuel consumption of a petrol engine is equivalent to 3.1 kg, and diesel engine - 3.16 kg of CO<sub>2</sub> emissions [7,11]. This is natural, because the hydrocarbon molecules included in gasoline and diesel fuels have from 4 to 12 carbon atoms. Therefore, switching to gas fuel - methane CH<sub>4</sub> (2.8 kg CO<sub>2</sub>, waste) is a natural ecologically beneficial step.



**Fig. 2.** Disposal of gases causing heat effects on the country (million tonnes of CO<sub>2</sub> equivalent)

**Conclusion.** The increase in city car parks, the lack of proper operation of their working parts, the lack of installation of disinfectant smoke gases, and the inadequate effectiveness of organizational measures to reduce the density of the city's highways create objective reasons for maintaining the leading role of the vehicle in the pollution of atmospheric air. The discrepancy between the number of vehicles and the capacity of the road network is increasing, which has led to congested traffic, "traffic jams" on the roads, causing an increase in concentrations of hazardous substances in such places. Dense high-rise buildings in the central part of Baku negatively affect the air exchange in the city, which leads to an increase in the number of people affected by polluted air. The structure of vehicles is still dominated by cars of old models. At the same time, the market of enterprises for the repair and maintenance of vehicles is mainly represented by handicraft garage workshops that do not have state registration and are not able to service modern electronically controlled vehicles equipped with bifunctional exhaust gas aftertreatment systems, catalytically regenerated particulate filters, on-board diagnostics, etc. These circumstances have led today to the problem of high air pollution of the cities of Azerbaijan by the exhaust gases of motor vehicles (exceeding the MPC by tens or more times). Restoration of tram and trolleybus fleets can significantly reduce environmental stress in developed industrial cities

## REFERENCES

1. Агаев, Т.Д. Краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы городов при различных метеорологических условиях // Журн. «Региональная экология», –М., –2010. №4 (30) - с.38-41.
2. Агаев, Т.Д. Метеорологический режим и его влияния на загрязнение воздуха городов / Т.Д.Агаев, –Сумгаит: СДУ, –2022, –323 с.
3. Агаев Т.Д. Метеорологический потенциал загрязнения атмосферы // Тр. Геогр. Общества Азербайджана. –Баку, –2004.т.IX, –с. 333-337.
4. Агаев, Т.Д., Гаджи-заде, Ф.М. Загрязнение атмосферного воздуха автотранспортом и безопасность жизнедеятельности в городах // Современные проблемы борьбы с чрезвычайными ситуациями, связанными с глобализацией. Международная научно-практическая конференция, 30-31 мая, –Баку, –2012. –с. 258-260.
5. Агаев, Т.Д. Особенности влияния выхлопных газов автотранспорта на загрязнение атмосферного воздуха городов / Т.Д.Агаев, К.Ш.Абдулов // Известия АГПУ. Отдел естественных наук, 2015. № 3, С. 41-44 (на азерб.)

6. Агаев, Т.Д. Использование показателя потенциала загрязнения атмосферы для безопасности жизнедеятельности / Т.Д.Агаев, А.А.Гулиева, С.Д.Агаева // Научно-практический журнал «Безопасность жизнедеятельности», –М., №4, –2011. –с.17-21.
7. Агаев Т.Д., Сулейманлы Д.Г., Бабашова А.А. Роль автотранспортных средств в загрязнение воздушного бассейна городов // Материалы научно-практической конференции по направлениям применения современной географической науки. –Баку. – 2014. –с.503-509
8. Азаров В.К. Разработка комплексной методики исследований и оценки экологической безопасности автомобилей: / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / –Баку, 2014. –136 с.
9. Финансирование деятельности по смягчению глобального изменения климата. / Серия публикаций по энергетике ЕЭК ООН. –Нью-Йорк и Женева. ООН, №37, –2010.
10. Вестник ЕЭК ООН. –Женева, выпуск №9, май –2012 .
11. Коломин В.В. Загрязнение атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта, как фактор риска для здоровья населения: / диссерт. на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. –2016, 170 с.
12. Aghayev T.D., Mamedov M.G., Asadova L.A. Meteorological conditions in Sumgayit and air pollution// Sumgayit: ecol. and progr. // Scient.-practical conference., –Sumgayit. –1999. Desember 15-16, –p.p.57.
13. [www.azstat.org](http://www.azstat.org)

**XÜLASƏ**  
**NƏQLİYYAT VASİTƏLƏRİNİN İSTİSMARINDAN ŞƏHƏRLƏRİN**  
**ATMOSFER HAVASININ ÇİRKƏNMƏSİ**  
*Ağayev T.D., Abdulov K.Ş.*

*Açar sözlər:* ətraf mühit, atmosfer, zərərli maddə tullantıları, əlverişsiz şərait, nəqliyyat vasitələri, sənaye şəhərləri

Məqalədə nəqliyyat vasitələrinin istismarından şəhərlərin atmosfer havasının çirklənməsi nəzərdən keçirilir. Nəqliyyat vasitələrinin istifadəsi nəticəsində yaranan zərərli təsirlərdən atmosfer havasının qorunması son dərəcə vacibdir. Məlum olub ki, avtomobillərin sayı cəmi 398 761 ədəd olan 1995-ci illə müqayisədə 2020-ci ildə bu rəqəm 1 473 563 ədədə yüksəlib ki, bunun da 655 422 ədədi Bakıda olub. Şəhərlərdə avtomobillərin sayı ilə yol şəbəkəsinin tutumu arasında uyğunsuzluq artır. Tramvay və trolleybus parkının bərpası inkişaf etmiş sənaye şəhərlərində ekoloji yükü əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər.

**РЕЗЮМЕ**  
**ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ**  
**ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**  
*Агаев Т.Д., Абдулов К.Ю.*

*Ключевые слова:* окружающая среда, атмосфера, выбросы загрязняющих веществ, неблагоприятные условия, транспортные средства, промышленные города.

В статье рассмотрено загрязнение атмосферного воздуха городов в результате эксплуатации транспортных средств. Охрана атмосферного воздуха от вредных воздействий, связанных с использованием транспортных средств, чрезвычайно важна. Выявлено, что по сравнению с 1995 годом, когда количество автомобилей составляло всего 398 761 единицу, в 2020 году это число увеличилось до 1 473 563 единицы, из которых 655 422 единицы находились в Баку. В городах растет несоответствие между количеством автомобилей и пропускной способностью улично-дорожной сети. Восстановление трамвайного и троллейбусного парка может существенно снизить экологическую нагрузку в развитых промышленных городах.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 01.11.2022 |
|                   | Son variant   | 10.01.2023 |

## LAYİHƏLƏNDİRİLƏN MÜRƏKKƏB SİSTEMLƏRİN TEXNİKİ VƏZİYYƏTİNİN QEYRİ-SƏLİS MODELLEƏR ƏSASINDA İDARƏSİ

<sup>1</sup>HÜSEYNOV AQİL HƏMİD oğlu [ORCID](#)

<sup>2</sup>MANAFOVA XƏYALƏ İDRİS qızı

Sumqayıt Dövlət Universiteti, 1-professor, 2-dissertant

[aqil.55@mail.ru](mailto:aqil.55@mail.ru)

**Açar sözlər:** texniki vəziyyətin idarəsi, texniki vəziyyət indeksi, qeyri-səlis sistem, həll qəbulu sistemi, informasiya idarəetmə sistemi.

**Giriş.** İdarəetmənin səmərəliliyi birbaşa giriş verilənlərinin emalı üsullarının keyfiyyətindən və sistemləşdirilməsindən və bu verilənlərin miqdarından asılıdır. Giriş verilənlərinin həcmi daim artması ilə əlaqəli sənaye müəssisələrinin rəqəbətliliyinin dəstəklənməsi üçün informasiya idarəetmə sistemi və qərar qəbulunun dəstəklənməsi sisteminin tətbiqi zəruriliyi yaranır. Bu baxımdan informasiyanın emalı və sistemləşdirilməsi üsulları elmi maraq kəsb edir.

Qurğuların texniki vəziyyətinin (TB) idarəsi dedikdə TB-nin dəstəklənməsi və yaxşılaşdırılması istiqamətində ixtiyarı təsir başa düşülür. Bu təsirlərin tərkibinə bir-birindən asılı olmayan (texniki qulluq, diaqnostika, sazlama, təmir və s.), eyni zamanda müəssisənin ehtiyatlarının idarəsi üçün təsirlər daxildir. Beləliklə, qurğuların TB-nin idarəsi- nisbətən çox geniş anlayışdır [1,2].

Qurğuların texniki qulluq və təmir üsullarının inkişafının müasir tendensiyası ilə əlaqəli idarəetmə həllinin qəbul edilməsi üçün qurğuların TB haqqında cari informasiyanın analizi aparılır. Hansı ki, bu informasiyalar (statik, ekspert, diaqnostik) müxtəlif tipli informasiya toplusundan ibarətdir. Buna uyğun olaraq bu informasiyaların sistemləşdirilməsi üsul və alqoritmlərinin işlənməsi və onların əsasında TB informasiya idarəetmə sisteminin reallaşdırılması məsələləri aktuallaşır.

Qurğuların texniki vəziyyətlərinin idarə edilməsi alqoritməi əsasən aşağıdakı ardıcılıqda yerinə yetirilir [3]:

1. Obyektin texniki vəziyyətinin qiymətləndirilməsi modellərinin qurulması və korrektirovkası;

2. Obyekti təyin edən əsas parametrlərin monitorinqi;

3. Texniki vəziyyətin göstəricilərinin-indeksin hesablanması;

4. İdarəetmə təsirlərinin analizi və formalaşdırılması;

5. İdarəetmənin yerinə yetirilməsi.

Baza modelləşdirmə üsulu kimi iyearxiyadan istifadə olunmaqla dekompozisiya tətbiq edilir ki, texniki vəziyyətin qiymətləndirilməsi obyektlərin quruluşu ilə əlaqəli göstəricilər sistemə əsaslanır. Hər bir sistemə (qurğular kompleksinə) bir-biri ilə əlaqəsi olmayan elementlər toplusu kimi baxılır. Bütün sistem altsistemlərə, altsistemlər isə elementlərə bölünür. Hər bir elementə müvafiq olaraq elə parametr (xassə) təyin edilir ki, istehsal prosesi üçün vacib mənaya malik olan bu parametrlərə istehsal prosesi zamanı nəzarət etmək lazımdır və bu parametrlərin qiyməti idarəedici həll qəbuluna birbaşa təsir edir.

Qurğuların texniki vəziyyətinin ədədi qiymətləndirilməsi texniki vəziyyət indeksi adlandırılır ki, çox sayda ədədi kəmiyyətlərdən asılıdır. Texniki vəziyyət indeksi kəmiyyəti parametrlərin normativ (nominal) qiymətlərinə uyğunluq nöqtəyi nəzərdən obyektin vəziyyətini xarakterizə edir [4,5].

Fərz edək ki, obyektin texniki vəziyyəti  $x$  parametri ilə xarakterizə olunur:

$x \in E$ , burada  $E$  - verilmiş parametrin qiymətlər çoxluğudur.

Əgər  $E$  parametrin bütün mümkün qiymətlər çoxluğudursa, onda bu çoxluq müntəzəm olaraq parametrin tələb olunan (mümkün) qiymətlərinin hər hansı alt çoxluğunu özündə saxlayır ki, bu altçoxluğu  $A$  ilə işarə etsək alarıq:

$$A \subset E$$

Əgər  $E$  çoxluğunun  $x$  elementi  $A$  çoxluğunda elementdirsə, yəni  $x$  parametrinin qiyməti tələb olunan aralıqda yerləşirsə, onda  $x \in A$ .

Çoxluqlar nəzəriyyəsində qeyd olunan aidiyyət üçün ifadə kimi xarakterik funksiya  $\mu_A(x)$  anlayışında istifadə edilir ki, onun mənsubiyyət qiyməti  $x$  elementinin  $A$  çoxluğuna daxil olub-olmamasını bildirir (hə və ya yox):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{əgər } x \in A, \\ 0, & \text{əgər } x \notin A. \end{cases}$$

İstehsalata tətbiqdə xarakteristik funksiya verilən texniki parametrin mümkün qiymətlərinin elementi olmasını göstərir. Yəni, texniki vəziyyət indeksinin parametrin konkret qiymətlərindən asılılığını xarakteristik funksiya təyin edir.

Bəzən praktikada parametrin qiymətlərinin mümkün və mümkün olmayan sərhəd qiymətləri dəqiq xarakter daşımır, ona görə obyektin texniki vəziyyətinin qiymətləndirilməsi məsələlərinin həllinə qeyri-səlis çoxluqlar nəzəriyyəsi tərəfindən baxmaq rəşionaldır. Bu zaman xarakteristik funksiya  $[0,1]$  intervalında istənilən qiyməti ala bilər. Buna uyğun olaraq,  $E$  çoxluğunun  $X_i$  elementi  $A$  çoxluğuna  $\mu_A$  dərəcəsinə aiddir. Onda, qeyri səlis çoxluğun tərifinə uyğun olaraq,  $\tilde{A}$  qeyri səlis tələb olunan qiymətlər altçoxluğunun  $E$  obyektinin parametrinin bütün mümkün qiymətləri çoxluğundan nizamlanmış cütər çoxluğu təyin edilir:

$$\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x))\}, \forall x \in E, (1)$$

Burada, xarakteristik aidiyyət funksiyası  $M$  çoxluğundakı qiymətləri mənimsəməklə  $x$  parametrinin cari qiymətinin mümkün qiymətlər çoxluğuna aidiyyətinin dərəcəsinə və ya səviyyəsini göstərir ( $\tilde{A}$ ).  $M$  çoxluğu aidiyyət qiymətlər çoxluğudur. Əgər  $M = \{0,1\}$ , onda  $\tilde{A}$  qeyri səlis altçoxluğuna adi kimi baxılacaq.

Beləliklə, qeyri-səlis altçoxluq anlayışından istifadə etməklə obyektin texniki vəziyyəti kimi ciddi təyin olunmamış anlayışları riyazi sturukturdan istifadə olunmaqla öyrənmək olar [6,7]. Bu zaman obyektin texniki vəziyyətinin qiymətləndirilməsi  $M = [0,1]$  çoxluğundan qiymətlər qəbul edir ki, onlarda konkret texniki parametrin seçilməsindən asılı olaraq xarakteristik aidiyyət funksiyası istifadəsi ilə müəyyənləşir.  $A$  obyektinin texniki vəziyyətini qeyri-səlis çoxluqlar nəzəriyyəsi terminləri ilə aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$\tilde{A} =$$

|                         |                         |  |         |                         |
|-------------------------|-------------------------|--|---------|-------------------------|
| $x_1$                   | $x_2$                   |  | $\dots$ | $x_n$                   |
| $\mu_{\tilde{A}1}(x_1)$ | $\mu_{\tilde{A}2}(x_2)$ |  | $\dots$ | $\mu_{\tilde{A}n}(x_n)$ |

burada  $x_i$ -  $A$  obyektinin texniki vəziyyətinin qiymətləndirilmə parametrləri,  $n$ -parametrlərin sayı,  $\mu_{\tilde{A}i}(x_i)$ - aidiyyət funksiyalarıdır (hər bir parametr üçün özünün tələb olunan qiymətlə altçoxluğu  $\tilde{A}_i$  və uyğun olaraq özünün aidiyyət funksiyası). Praktiki olaraq obyektin texniki vəziyyətini təsvir

etmək üçün bir neçə aidiyyət funksiyasından istifadə olunması onunla izah edilir ki, hər bir parametr müxtəlif ölçü vahidinə malik ola bilər, hər biri üçün mümkün qiymətlər intervalı müxtəlif ola bilər.

Bu parametrlərin hər biri obyektin vəziyyətini xarakterizə edir və nəzərə alınmalıdır.

Beləliklə, əgər təklif olunan model bütün parametrlərin cari qiymətlərinə uyğun nəzərə alınmaqla qurulursa, onda  $\tilde{A}$  çoxluğu obyektin cari texniki vəziyyətini xarakterizə edəcəkdir.

$$\tilde{A}^{cari} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ \hline \mu_{\tilde{A}1}(x_{1cari}) & \mu_{\tilde{A}2}(x_{2cari}) & \dots & \mu_{\tilde{A}n}(x_{ncari}) \\ \hline \end{array}$$

Burada  $x_{icari}$  - A obyektinin parametrlərinin cari qiymətləridir.

Əgər obyektin texniki vəziyyəti bütün parametrlər üzrə ideal səviyyədədirsə, onda onun vəziyyətini aşağıdakı şəkildə təsvir etmək olar:

$$\tilde{A} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ \hline = 1 & 1 & \dots & 1 \\ \hline \end{array} = \bar{A}^{nor}$$

Yəni obyektin ideal vəziyyətini  $\bar{A}^{nor}$  dəqiq çoxluğu şəklində yazmaq olar, hansı ki, elementləri  $n$  vahiddən ibarətdir.

Ümumiləşmiş texniki vəziyyəti təyin etmək üçün iki qiymətləndirmədən istifadə edilir:  $\tilde{A}^{cari}$  çoxluğu ilə  $\bar{A}^{nor}$  çoxluğu arasındakı nisbi xətti məsafə (Xemminq məsafəsi) və nisbi kvadratik məsafə.

Yuxarıda qeyd olunan çoxluqlar arasındakı nisbi məsafə aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\delta(\tilde{A}^{cari}, \bar{A}^{nor}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(\mu_{\bar{A}^{nor}}(x_i) - \mu_{\tilde{A}^{cari}}(x_i))| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}^{cari}}(x_i))$$

Belə çevirmə aparsaq:

$$\delta(\tilde{A}^{cari}, \bar{A}^{nor}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}^{cari}}(x_i)}{n} = 1 - \mu_{\tilde{A}^{cari}}^{hesabi orta}(x_i),$$

burada  $\mu_{\tilde{A}^{cari}}^{hesabi orta}(x_i) - \mu_{\tilde{A}^{cari}}(x_i)$ -nin bütün qiymətlərinin hesabi ortasıdır.

$\tilde{A}^{cari}$  və  $\bar{A}^{nor}$  çoxluqları arasındakı nisbi kvadratik məsafə aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\varepsilon(\tilde{A}^{cari}, \bar{A}^{nor}) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mu_{\bar{A}^{nor}}(x_i) - \mu_{\tilde{A}^{cari}}(x_i))^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}^{cari}}(x_i))^2}$$

Hər iki nisbi məsafə aşağıdakı şərtləri ödəyir:

$$\begin{aligned} 0 &\leq \delta(\tilde{A}^{cari}, \bar{A}^{nor}) \leq 1 \\ 0 &\leq \varepsilon(\tilde{A}^{cari}, \bar{A}^{nor}) \leq 1 \end{aligned}$$

Göründüyü kimi, nisbi məsafənin köməyi ilə  $\delta(\tilde{A}^{cari}, \bar{A}^{nor})$  və  $\varepsilon(\tilde{A}^{cari}, \bar{A}^{nor})$  ancaq obyektin texniki vəziyyətini deyil, həmçinin obyektləri öz aralarında müqayisə etmək olar. Bir nümunəyə baxaq. Tutaq ki, iki obyektin texniki vəziyyəti aşağıdakı parametrlərlə təyin edilir:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1^{cari} &= \{x_1 = 0,5; x_2 = 0,5; x_3 = 0,5; x_4 = 0,5\}, \\ \tilde{A}_2^{cari} &= \{x_1 = 0,1; x_2 = 0,4; x_3 = 0,6; x_4 = 0,9\}. \end{aligned}$$

$$\text{Onda} \quad \delta(\tilde{A}_1^{cari}, \bar{A}_1^{nor}) = \frac{0,5+0,5+0,5+0,5}{4} = 0,5$$

$$\delta(\tilde{A}_2^{cari}, \bar{A}_2^{nor}) = \frac{0,1 + 0,4 + 0,6 + 0,9}{4} = 0,5$$

Göründüyü kimi, xətti məsafəyə görə qiymətləndirmə obyektlərin texniki vəziyyətindəki fərqi əks etdirmir. Etibarlılıq nəzəriyyəsinə əsasən ikinci obyektin texniki vəziyyəti aşağıdır. Belə ki,  $x_1$  parametrinə görə texniki vəziyyətin indeksinin 0,1-ə bərabər olması obyektin zəif nöqtəsini göstərir. Bu da, baxılan halda sıradan çıxma halının ehtimalının yüksək olmasını göstərir. Kvadratik məsafəni hesablayaq:

$$\varepsilon(\tilde{cari}, \bar{nor}) = \sqrt{\frac{(1-0.5)^2 + (1-0.5)^2 + (1-0.5)^2 + (1-0.5)^2}{4}} = 0,5,$$

$$\varepsilon(\tilde{cari}, \bar{nor}) = \sqrt{\frac{(1-0.1)^2 + (1-0.4)^2 + (1-0.6)^2 + (1-0.9)^2}{4}} \approx 0,578 \approx 0,6.$$

Baxılan nümunə obyektin texniki vəziyyətinin əlavə qiymətləndirilməsi üçün kvadratik məsafənin tətbiqini yaxşı nümayiş etdirin.

Obyektin texniki vəziyyətini təsvir edən, təqdim edilən model obyektlərin öz aralarında müqayisə oluna bilməmə problemini həll edir. Hətta müxtəlif sayda parametrlərlə obyektlərin texniki vəziyyətinin qiymətləndirilməsi şəraitində indekslər sisteminin köməyi ilə imkan yaranır ki, birləşdirilmiş əlamətə görə obyektlərin müqayisəsi mümkün olsun. Qeyd etmək lazımdır ki, qeyri-səlis çoxluqlar nəzəriyyəsinin istifadəsi ilə texniki vəziyyətin indeksi daha ümumiləşmiş xarakter alır, onu universal göstərici edir. Mürəkkəb sistemin texniki vəziyyətinin indeksinin hesabı çox sayda elementlər çoxluğundan ibarət olmaqla təsvir olunan üsullun ən yüksək səviyyəyə qədər çevirilməsini fərz edir. Nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, informasiya sistemlərinin konseptual modelində zəruridir ki, elementlərin parametrləri kimi istənilən səviyyənin sistem parametrlərində nəzərə alınması mümkündür. Bu məsələ sonrakı tədqiqat üçün predmet sahəsi ola bilər.

**Nəticə.** Qeyri-səlis aparat informasiyanın sistemləşdirilməsi və idarəsi üçün səmərəli alət hesab edilə bilər. Bu, qeyri-səlis həll qəbulunu dəstəkləyən sistemin və informasiya idarəetmə sisteminin təşkili üçün möhkəm əsasdır.

Texniki vəziyyətin indeksinə əsaslanan qurğuların texniki vəziyyətinin informasiya idarəetmə sistemi qurğuların vəziyyəti haqqında sistemləşdirilmiş məlumatların alınmasını təmin edir. Bu sistemləşdirmənin səviyyəsi istifadəçinin tələblərindən asılıdır. İnformasiya idarəetmə sistemi razılışdırılmış işlərin aparılmasına imkan yaradır, istehsalat səviyyəsi ilə idarəetmə səviyyəsi arasında qarşılıqlı əlaqəni təmin edir, həmçinin tam halda müəssisənin istehsal mədəniyyətini yüksəldir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Елецкий, М.И. Подход к оценке эффективности компонента элемента программно-аппаратного комплекса автоматизации деятельности органов военного управления центра ситуационного планирования // Интегрированные системы управления : сб. науч. тр. науч.-техн. конф. – Ульяновск: ФНПЦ АО «НПО «Марс», –2016. – ч.1. –с. 198-197.
2. Арепин, Ю.И. Военная кибернетика: методология создания автоматизированных систем управления техническим обеспечением / Ю.И.Арепин, Р.В.Допира, А.А.Смоляков –Тверь: ЗАО НИИ ЦПС, –2006. –202 с.
3. Шкляр, В.Н. Надежность систем управления: учеб. пособие / В.Н.Шкляр, –Томск: Томский политехнический университет, –2009. – 126 с.
4. Сотскова Е.А. Экономико-математическое моделирование критерия эффективности процесса управления предприятием / Е.А.Сотскова, А.Н.Сотсков // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2011. №1 (25). – с. 61-66.
5. Волков, М.В. Анализ основных характеристик, определяющих эффективность автоматизированных систем управления и методов их оценки / М.В.Волков, Р.Н. Филиппов // Вестник ВГТУ. – 2009. №3.

6. Гаврилюк, Е.А. Комплексная оценка технического состояния систем автоматического управления газоперекачивающими агрегатами / Е.А.Гаврилюк, С.А.Манцеров, С.Г.Синичкин // Фундаментальные исследования. – 2014. - №11. – с. 2141-2145.
7. Гаврилюк, Е.А. Разработка стратегии обслуживания и ремонта оборудования газотранспортного предприятия на основе индекса технического состояния / Е.А.Гаврилюк, С.А. Манцеров // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. -2017. - №3 (118). – с. 121-126.

#### РЕЗЮМЕ

#### УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ПРОЕКТИРУЕМЫХ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ

*Гусейнов А.Г., Manafova X.I.*

**Ключевые слова:** управление техническим состоянием, показатель технического состояния, нечеткая система, система принятия решений, информационно-управляющая система.

Путем повышения эффективности процесса управления техническими системами, повышается их производительность и одновременно рассматриваются вопросы систематизации технического обслуживания объектов. Показатель технического состояния, в котором рассматривается физический смысл универсального показателя состояния объекта, описывается в терминах теории нечетких множеств. Для этого уточняется информация, определяющая техническое состояние, и предлагается алгоритм управления техническим состоянием.

Создана параметрическая модель с нечеткой структурой, поддерживающая принятие решений в управлении техническим состоянием сложных систем.

Рассмотренный в статье подход позволяет использовать проблемно-ориентированные системы управления и принятия решений с применением методов обработки информации за счет повышения надежности устройств и эффективности управления.

#### SYMMARY

#### CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF DESIGNED COMPLEX SYSTEMS BASED ON FUZZY MODELS

*Huseynov A.H., X.I.Manafova*

**Key words:** technical condition management, technical condition indicator, fuzzy system, decision making system, information management system.

By increasing the efficiency of the process of managing technical systems, their productivity is increased and at the same time, the issues of systematizing the maintenance of objects are considered. The indicator of technical condition, which considers the physical meaning of the universal indicator of the state of an object, is described in terms of fuzzy set theory. To do this, the information that determines the technical condition is specified, and an algorithm for managing the technical condition is proposed.

A parametric model with a fuzzy structure has been created that supports decision-making in managing the technical condition of complex systems.

The approach considered in the article makes it possible to use problem-oriented control and decision-making systems using information processing methods by increasing the reliability of devices and control efficiency.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 21.02.2023 |
|                   | Son variant   | 03.03.2023 |

## ÇOXMEYARLI QƏRAR QƏBULETMƏ ÜSULUNUN TƏTBİQİ VASİTƏSİLƏ ƏN YAXŞI AVTOMOBİL SEÇİMİNİN HƏLLİ

**CABBAROVA KÖNÜL İMRAN qızı** [ORCID](#)

*Azərbaycan Dövlət Neft Və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan, dosent*  
[konul.jabbarova@mail.ru](mailto:konul.jabbarova@mail.ru)

**Açar sözlər:** WASPAS üsulu, Z-ədəd, avtomobil seçimi

Çoxmeyarlı qərar qəbuletmə üsulları (MCDM) real məsələlərin həllində mühüm rol oynayır [1]. Satınalmaların idarə edilməsi müasir rəqabət dünyasında, xüsusən də fərdlər tərəfindən ən faydalı və əhəmiyyətli avtomobil alışı məsələlərində daha vacibdir. Avtomobil mühərrik gücü, şəhər və magistral yürüş, maksimum güc və s. kimi xüsusiyyətə malikdir və alıcı Maruti, Hyundai və s. kimi alternativlər arasından ən yaxşı avtomobili seçməlidir. [1]-də bu tip məsələlərin həlli üçün TOPSİS, VİKOR və SAW üsullarında istifadə olunmuşdur.

[2]-də Hindistanın orta sinif ailəsi üçün ən uyğun avtomobili tapmaqda çoxmeyarlı qərar qəbuletmə üsullarından istifadə etməyə baxılıb. TOPSİS üsulunu qısa icmal verilmiş. Məqalədə TOPSİS ilə bağlı ədəbiyyat icmal da aparılır. Məqalədə müştəri tərəfindən gündəlik istifadə üçün kiçik bir avtomobil alarkən bəzi əsas parametrlər də nəzərə alınır.

[3]-də ən yaxşı avtomobil seçimi üçün hibrid çoxmeyarlı qərar qəbuletmə texnikasının tətbiqinə baxılır. Bu araşdırmada ən yaxşı avtomobil seçmək üçün təhlükəsizlik, performans, iqtisadi aspekt, görünüş, satıcı, zamanət kimi meyarlara və 5 alternativə diqqət yetirilir. Ən yaxşı avtomobili qiymətləndirmə üçün iki model təklif olunur. Birinci model, qeyri-səlis analitik iyerarxiya prosesi (FAHP) PROMETHEE texnologiyası ilə inteqrasiya olunur. İkinci model, FAHP iyerarxik boz əlaqə analizi (GPA) texnikası ilə inteqrasiya edilmişdir. Burada FAHP avtomobil seçimi probleminin strukturunu təhlil etmək və meyarların çəkirlərini müəyyən etmək üçün istifadə olunur. Avtomobillərin yekun müqayisəsini əldə etmək üçün GRA və PROMETHEE üsullarından istifadə olunur.

Bu məqalədə Z-informasiyaya əsaslanan ən yaxşı avtomobil seçimi məsələsinə WASPAS üsulu tətbiq olunur. Məsələnin həllində Z-ədədlər üzərində riyazi əməliyyatlardan istifadə olunur [4-7].

**Məsələnin qoyuluşu və həlli.** Baxılan məsələ 4 alternativ ( $f_1, f_2, f_3, f_4$ ) və 4 meyardan ( $C_1$ -stil,  $C_2$ -omür uzunluğu,  $C_3$ -yanacaq qənaəti,  $C_4$ -qiymət) [8]. Meyarların uyğun qiymətləri Z-ədədlərlə  $f_{ij} = (A_{ij}, B_{ij})$  təsvir olunur (Cədvəl 1.). Məsələnin həlli üçün Çəkili Cəm (WSM) və Çəkili Hasil (WPM) üsullarının birləşməsi olan WASPAS üsulundan istifadə olunur [9]. WASPAS üsulunun yerinə yetirilməsi ardıcılığı aşağıdakı kimidir:

**Addım 1:** Secim probleminin həlli üçün matris qurulur:

**Cədvəl 1.**

| Meyarların Z-ədədli qiymətləri |                                 |                                   |
|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|                                | $C_1$                           | $C_2$                             |
| $f_1$                          | (0.36, 0.4, 0.44)(0.8, 0.9, 1)  | (0.43, 0.48, 0.53)(0.6, 0.7, 0.8) |
| $f_2$                          | (0.48, 0.53, 0.58)(0.8, 0.9, 1) | (0.43, 0.48, 0.53)(0.6, 0.7, 0.8) |
| $f_3$                          | (0.41, 0.46, 0.51)(0.8, 0.9, 1) | (0.55, 0.61, 0.67)(0.6, 0.7, 0.8) |
| $f_4$                          | (0.53, 0.59, 0.65)(0.8, 0.9, 1) | (0.37, 0.41, 0.45)(0.6, 0.7, 0.8) |

**Cədvəl 1. (davamı)**

|       | $C_3$                         | $C_4$                       |
|-------|-------------------------------|-----------------------------|
| $f_1$ | (0.43,0.48,0.53)(0.7,0.8,0.9) | (0.36,0.4,0.44)(0.8,0.9,1)  |
| $f_2$ | (0.43,0.48,0.53)(0.7,0.8,0.9) | (0.41,0.46,0.51)(0.8,0.9,1) |
| $f_3$ | (0.49,0.54,0.59)(0.7,0.8,0.9) | (0.48,0.53,0.58)(0.8,0.9,1) |
| $f_4$ | (0.43,0.48,0.53)(0.7,0.8,0.9) | (0.53,0.59,0.65)(0.8,0.9,1) |

Meyarların vaciblik çəkiliəri  $w_1 = 0.1$ ,  $w_2 = 0.4$ ,  $w_3 = 0.3$ ,  $w_4 = 0.2$ -dir.

**Addım 2:** (1) tənliyi vasitəsilə WSM üsuluna əsaslanaraq ümumi nisbi əhəmiyyət hesablanır:

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n Z_{f_{ij}} \cdot w_j \quad (1)$$

$Z_{f_{ij}}$  hər bir alternativin meyarlarının  $Z$ -qiymətləridir.

Alınan nəticələr Cədvəl 2-də verilib.

**Cədvəl 2.**

| $Q_i^{(1)}$ -nin nəticələri |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
|                             | $C_2$                            |
| $f_1$                       | (0.41,0.45,0.51)(0.41,0.56,0.76) |
| $f_2$                       | (0.43,0.49,0.53)(0.43,0.58,0.74) |
| $f_3$                       | (0.5,0.56,0.61)(0.38,0.53,0.71)  |
| $f_4$                       | (1.16,1.29,1.43)(0.36,0.52,0.7)  |

**Addım 3:** (2) tənliyi vasitəsilə WPM üsuluna əsaslanaraq ümumi nisbi əhəmiyyət hesablanır:

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n Z_{f_{ij}}^{w_j} \quad (2)$$

(2) tənliyi ilə alınan nəticələr Cədvəl 3-də verilir.

**Cədvəl 3.**

| $Q_i^{(2)}$ -nin nəticələri |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
|                             | $Q_i^{(2)}$                      |
| $f_1$                       | (0.41,0.45,0.51)(0.35,0.51,0.67) |
| $f_2$                       | (0.43,0.49,0.53)(0.35,0.51,0.69) |
| $f_3$                       | (0.5,0.55,0.61)(0.35,0.51,0.71)  |
| $f_4$                       | (0.43,0.48,0.53)(0.35,0.51,0.65) |

**Addım 4:** Sıralama dəqiqliyini və qərar qəbulətmə prosesinin rahatlığını artırmaq üçün WASPAS üsulunda (3) tənliyi vasitəsilə alternativlərin ümumi nisbi əhəmiyyəti formalaşdırılır:

$$Q_i = \lambda \cdot Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) \cdot Q_i^{(2)}, \quad \lambda = 0, 0.1, 0.2, \dots, 1 \quad (3)$$

$\lambda = 1$  olduqda  $Q_i = Q_i^{(1)}$ ,

$\lambda = 0$  olduqda  $Q_i = Q_i^{(2)}$  olur.

Təklif olunan məsələ üçün  $\lambda = 0.5$  götürülür. Alınan nəticələr Cədvəl 4-də verilir.

Cədvəl 4 .

| <i>Q<sub>i</sub> -nin nəticələri</i> |                                  |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| <i>Q<sub>i</sub></i>                 |                                  |
| <i>f<sub>1</sub></i>                 | (0.42,0.45,0.51)(0.25,0.39,0.59) |
| <i>f<sub>2</sub></i>                 | (0.44,0.5,0.54)(0.27,0.42,0.59)  |
| <i>f<sub>3</sub></i>                 | (0.5,0.56,0.62)(0.27,0.39,0.59)  |
| <i>f<sub>4</sub></i>                 | (0.8,0.89,0.99)(0.17,0.32,0.5)   |

Son addımda, alternativlərin Q qiymətləri müqayisə olunur [10]. Ən yaxşı alternativ Q-nün ən böyük qiymətinə əsasən seçilir (Cədvəl 5).

Cədvəl 5.

| <i>Müqayisənin nəticəsi</i> |  |
|-----------------------------|--|
| <i>Müqayisə</i>             |  |
| <i>f<sub>4</sub></i>        |  |
| <i>f<sub>3</sub></i>        |  |
| <i>f<sub>2</sub></i>        |  |
| <i>f<sub>1</sub></i>        |  |

Nəticələr *f<sub>3</sub>* alternativinin ən yaxşı olduğunu göstərir.

**Nəticə.** Məqalədə ən yaxşı avtomobil seçimi məsələsi WASPAS üsulunun tətbiqi ilə həll olunub. Baxılan məsələ 4 alternativ və 4 meyardan ibarətdir. Alternativlərin hər bir meyarının qiyməti Z-ədədlərlə təsvir olunur. Hər bir meyarın uyğun vaciblik çəkilişi verilmişdir. Alınan nəticələr üsulun effektivliyini göstərir.

## REFERENCES

1. Sathyapriya, S. Selection of cars using combined multi criteria decision making techniques / S.Sathyapriya, Seeli P.Bavya, R.Swathi // International Journal of Creative Research Thoughts – 2018, (IJCRT) 6(1), –pp.832-841 ().
2. Chaubey, S.K. Using MCDM technique-TOPSIS for selecting small passenger car. PalArch's Journal Of Archaeology of Egypt / Egyptology, –2020, (PJAEE) 17(6), –pp. 6045-6050
3. Sakthivel, G. A hybrid MCDM approach for evaluating an automobile purchase model / G.Sakthivel, M.Ilangkumaran, G., Raja Nagarajan [et al.] // International Journal of Information and Decision Sciences, –2013, 5(1), –pp. 50-85.
4. Zadeh, L.A. Fuzzy sets and commonsense reasoning. Berkeley: Institute of Cognitive Studies report 21, University of California (1984).
5. Zadeh, L.A. Fuzzy sets as a basis for the management of uncertainty in expert systems. Fuzzy Sets and Systems 11, - pp. 199-227 (1983).
6. Zadeh, L.A. A computational theory of dispositions. In: Proc. of 1984 Int. Conference on Computation Linguistics. Stanford: 1984, pp.312-318.
7. Zadeh, L. A. A note on Z-numbers. Information Sciences, 2011, 181, -pp. 2923–2932
8. Srikrishna, S , Sreenivasulu Reddy. A. , Vani S. A new car selection in the market using TOPSIS technique. International Journal of Engineering Research and General Science, 2(4).pp.177-181 (2014).
9. Chakraborty, Sh., Zavadskas, K.E. Applications of WASPAS Method in Manufacturing Decision Making / Informatica 25(1), –pp.1-20 (2014). DOI:[10.15388/Informatica.2014.01](https://doi.org/10.15388/Informatica.2014.01)
10. Zadeh, L.A. Generalized theory of uncertainty (GTU) – principal concepts and ideas/ Computational statistics & Data Analysis 51, -pp. 15-46 (2006).

**РЕЗЮМЕ**  
**РЕШЕНИЕ НАИЛУЧШЕГО ВЫБОРА АВТОМОБИЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ**  
**МНОГОМЕРНОГО МЕТОДА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

*Джаббарова К.И.*

**Ключевые слова:** *WASPAS метод, Z-число, выбор автомобиля*

В наше время автомобильная промышленность является самой быстрорастущей отраслью в мире. Автомобильная промышленность играет важную роль в жизни потребителя. Каждый год на рынке выпускаются автомобили, основанные на новейших технологиях. Потребитель сталкивается с проблемой выбора подходящего ему автомобиля из множества различных модификаций. В этой статье используется метод WASPAS, чтобы выбрать лучшую из множества альтернатив.

**SUMMARY**  
**DECIDING THE BEST CHOICE OF CAR BY USING**  
**A MULTIDIMENSIONAL DECISION-MAKING METHOD**

*Jabbarova K.İ.*

**Keywords:** *WASPAS method, Z-number, car selection*

In modern times, the automotive industry is the fastest growing industry in the world. The automobile industry plays an important role in consumer life. Every year, cars based on the latest technology are produced on the market. The consumer is faced with the question of choosing a suitable car for himself from aere of various mods. In this article, the method of WASPAS is used to choose the best car from a variety of alternatives.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 03.02.2023 |
|                   | Son variant   | 28.03.2023 |

## **FİLİZ GİRDƏLƏRİNİN (OKATIŞIN) İSTEHSALINDA ŞİXTƏNİN TƏRKİBİNİN OKATIŞIN STRUKTURUNA VƏ FAZA TƏRKİBİNƏ TƏSİRİNİN TƏDQIQI**

**QƏHRƏMANOV VURĞUN FƏXRƏDDİN oğlu**

*Bakı Mühəndislik Universiteti, Bakı, Azərbaycan, dosent*

[qehremanovvurqun@gmail.com](mailto:qehremanovvurqun@gmail.com)

*Açar sözlər: polad, okatış, temperatur, bərklik, okatış, xassə, möhkəmlik*

**Giriş.** Yandırılmış okatışın strukturu və faza tərkibinə onun xassələri də təsir edir. Okatışın möhkəmliyinin azalmasını, səthdə gedən reaksiyaların kinetik oduncağı-nın şişməsinə və istiliklə emal zamanı hərəkəti və s. təmin edilir [1, 2].

Şixtə materialının tərkibinin rolu xüsusilə okatışın hissələrində onun möhkəmlik göstəricilərinin lazımi qədər tədqiqi və müxtəlif ədəbiyyatlarda müzakirəsi get-mişdir [3,4]. Bu proseslər tərkibə xeyli flüsün əlavə olunması ilə nəticələnir. Lakin problem okatışın tərkibində boş süxurların olması ilə əlaqədardır. Lakin, ümumiyyətlə tərkibdə təqribən 3%-ə qədər zərərli qatışıqlar ola bilər.

Bu yanaşma OAO xüsusi tipli maşınlarda izah olunmuş və ətraflı aydınlaşdırılmışdır. Burada okatışın istifadə üçün onun nə dərəcədə əhəmiyyətli, keyfiyyətinin yaxşılaşması və bundan sonra onun əsas ölçüsünün 1 və ondan yuxarı olur ki, bu da XIII – III avadanlığının təcrübələrinə uyğun olur və nəticədə dəmirin tərkibdə ümumi saxlanması aşağı düşür [5,6]. Bunun üçün tamamilə yeni tədqiqat işində şixtənin tərkibinin rolu (əhəngin, dolomitin, metalın və.s) və eyni zamanda neytral oksidlərin (boksit) əlavəsi və strukturların formulunda OAO Azərbu konsentratından istifadə daha məqsədə uyğun hesab edilir. Lakin bu üsulla təklif olunmuş okatışın o qədər də əhəmiyyətli olmadığı məlum olub. Bu tərkibdə olan mineralların yandırılmış okatışın istehsalı zamanı onun bərkliyinə təsiri ilə izah edilib [7,8].

Şixtə materiallarının keyfiyyətində yüksək keyfiyyətli konsentrat kiçik bentonit-li boksit, mel, əhəng və dolomit şəklində istifadə edilir. İstifadə edilən konsentratın keyfiyyət göstəriciləri cədvəl 1-də göstərilmişdir.

Şixtənin başqa komponentləri laboratoriya şəraitində emal olunaraq xırdalanır, hissələrlə konsentrat şəklində qarışdırılır. Laboratoriya şəraitində hazırlanan okatış gi-rintili, çıxıntılı olur və onun diametri 0,9 m-dən sonra sərilərək növlərə ayrılır. 12-16 mm ölçülü fraksiyalar kənar olunur. Nəm şəklində olan okatış hündürlüyü 300 mm olan korzinaya (nümunə üçün) yüklənir.

*Cədvəl 1.*

| <b>Kütlə hissəsi, %</b>                                  | <b>Norma</b> | <b>Buraxıla bilən hədd</b> |
|----------------------------------------------------------|--------------|----------------------------|
| Az miqdar ümumi dəmir                                    | 69,8         |                            |
| Nəmlik                                                   | 9,8          | +0,1/-0,2                  |
| SiO <sub>2</sub>                                         | 2,8          | +0,2                       |
| Nəsarət üçün hissələr 0,045 mm-dən böyük olmamaq şərtilə | 97,0         |                            |
| Xüsusi səth, sm <sup>2</sup> /q böyük olmamaq şərtilə    | 2100         |                            |

Bu xüsusi yandırıcı maşında qarışdırılmaqla təbəqələşdirilir. Termiki emal rejimi yekunlaşdıqdan sonra yandırılmış okatış karzina təbəqədən çıxarılır və iki hissəyə ayrılır: yuxarı və

aşağı. Yandırma maşınının bütün təcrübə aparıcı rejimlərdə maksimal temperaturu 1260-1270 °C və 1200 °C-də yaşama müddəti 5-8 dəqiqə olur.

Okatışın bərkliyinin sınaq nəticələrinin şixtənin tərkibindən asılılığı cədvəl 2-də göstərilmişdir.

Quru və nəm okatışın tərkibində əsasən bentonit olduğu və bundan başqa digər əlavələrin də olduğu görünür. Şixtdə az miqdarda  $P_{nəm}$  və  $P_{quru}$ ,  $P_{ok}$  və 1% boksitin olması başlıca olaraq tərkibdəki birləşmələrin əlaqəsindən asılı olur. Bu cür daxilet-mə quru və nəm okatışın keyfiyyət formulunda bentonitin bölünməsinin modelini hi-mayə edir.

#### Cədvəl 2.

*Orta bərklik və nəmlik göstəriciləri ( $P_{quru}$ ,  $P_{nəm}$  və yandırılmış okatışın ( $P_{ok}$ ) müxtəlif konsentratlardan və şixtlərdən istifadə etməklə istehsalı*

| Okatış                         | Bərklik $H_{ok}$ |            |          |
|--------------------------------|------------------|------------|----------|
|                                | $P_{nəm}$        | $P_{quru}$ | $P_{ok}$ |
| Flüsləşməmiş:                  |                  |            |          |
| 0,6 % bentonitli               | 14               | 68         | 2700     |
| 1% bentonitli                  | 12               | 48         | 3200     |
| 0,3% bentonitli və 1% boksitli | 10               | 23         | 3200     |
| Flüsləşmiş:                    |                  |            |          |
| 0,3% bentonitli                |                  |            |          |
| 1% boksitli                    | 8                | 23         | 4500     |
| 1% flüs                        |                  |            |          |

Nəm okatışın keyfiyyəti yandırılmış okatışın təbəqəsi üzrə bərkliyinə təsir edir. Nəm okatışın bərkliyinin ( $10H_{ok}$ ) yüksək olması bərkliyin hündürlük üzrə yandırıl-maya az təsir edir. Əksinə, nəm okatışın keyfiyyətinin aşağı göstəricilərini (6-8  $H_{ok}$ ) təyin etməzdən əvvəl aşağı təbəqədə bərkliyin yuxarı təbəqədəki bərkliyə nisbətən az olduğu müəyyən olunmuşdur. Bu təbəqələrin qazodinamik parametrləri, hətta xüsusi qurutma zonası ilə əlaqəlidir. Nəm okatışın keyfiyyətinin aşağı olması nəm çəkmədən əvvəlki zonada çox ehtimal ki, təbəqələrin qazodinamik müqavimətlərini və nəticədə okatışın termiki emal qaydalarını ləğv edir.

Flüsləşmiş yandırılmış okatışın möhkəmliyi onun tərkibinə tarazlıq üçün flüs-lər, mel əhəng və yaxud dolomit və tərkibi 3,5-4  $kH_{ok}$ -a bərabərləşdirmək üçün flüs-ləşmiş (2,2-2,7  $kH_{ok}$ ) əlavə olunur. Yandırılmış məhsulun ümumi keyfiyyəti bərkliyin maye fazanın bişirmə dərəcəsinin inkişaf etdirilməsi ilə əlaqəlidir. Boksit və bentonit kimi turş əsaslı materialların əlavə olunması okatışın bərkliyini əhəmiyyətsiz olaraq ar-tırır. Bu vəziyyətin tətbiqi mineroloji tədqiqatlarla sübut olunmuş, göstəriş göstərici-lərlə flüsləşmiş okatışın əhəmiyyətinin artırılması (silikatlı ərintinin həcmi hissəsi) 4-5-dən 7-10%-ə qədər ferrit fazasının təşkili, bişmə prosesinin intensivləşdirilməsi və s. sübuta yetirilmişdir. Bentonitin nəm və quru okatışın bərkliyinə təsiri strukturunun və qazodinamikasını az miqdarda dəyişir. Qeyd edək ki, onun bərkliyinə az miqdarda da olsa təsir edir.

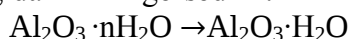
Fülüsəmələgətiricilərin tərkibə əlavə olunması yalnız yandırılmış okatışın bərkliyini yüksəltmir, eyni zamanda bu gös-təricilərin stabilliyini də müəyyənləşdirir və təmin edir. Bunu təmin etmək üçün əhəng, mel və dolomitdən istifadə edirlər.

Okatışın səthi xüsusi üsulla aşılır. Bu o qədər edilir ki, nüvə aydın görünür. Bu zaman maqnetitin tərkibi də aydın ifadə edilir. Okatış az məsaməli olduğu üçün on-da tükşəkilli çatlar görünür. Okatışın strukturu qırıntılardan dənələrin sərhəddində ye-nidən əridilmədən sonra, ancaq xırda dənələr xüsusi yumru formada olurlar. Okatış hematit tərkibə malikdir, səth sahəsində dənələr birləşmiş, mərkəzə doğru istiqamətlən-miş formada olur, onların ölçüləri kiçilir, məsaməlilik artır. Okatışın əlaqəsi hematit tip-lidir.

Silikat əlaqələri yumşaq ifadə edilir, dənələrin səthində hematit, güzgü və plyon-ka şəklində təqdim və müşahidə olunur. Şüşələr rəngsiz sarıyabənzər qlobulyar forma-da 1,609 istiqamətini dəyişmiş, ayrıca kvarsit dənələri, bentonit açılmış formada kiçik filiz hissələri şəklində ayrılır.

Tərkibində boksit olan məhsulların sınağında parlaq boz rəngli dənələr görünür, daxili reflekslər sarı-qırmızı şəkildə olur və işığı qaytararaq rədd edir. Bu zaman yaranmış çatlar okatişin həcmində ayrıca xırda topalar şəklində toplanır. Bu əlaqə kalsi-ferrit-braunmüllerit ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) bərk məhluluna uy-ğun gəlir. Bu birləşmə ümumi həcm 4-5%-ni təşkil edir.

Birinci yandırılmış okatişin filiz olan hissəsində şıxtənin tərkibində müxtəlif tərkib əlavələrinin qatılması zamanı yandırma temperaturunun təsiri əhəmiyyətsiz oldu-ğu müəyyənəşdirilmişdir. Flüsləşmiş okatişin ümumi məsaməliliyin qeyd olun-ma-sında Flüsləşdirilməmiş boksit tərkibli müqayisəsində başlıca olaraq əhəngin  $700-900^\circ\text{C}$  temperatur zamanı dissosiasiyasında boksit parçalanır. Lakin Flüsləşmiş okatişda sonda silikat və kalsium-ferrit örtüyü yaranır və əksinə, Flüsləşməmiş okatişin səthində hətta boksit tərkibli okatişda belə əsasən hemotit fazası əmələ gəlir. Boksitli okatişda məsaməliliyin formulu, nəticədə  $300-700^\circ\text{C}$ -də hidrat nəmliyin kənar olunması sxemi aşağıdakı kimi görsədilir:



Nəticədə yandırma temperaturunu  $>1200^\circ\text{C}$  zamanı  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oksidləri dəmiri və kalsiumu qoruyur və sərtliyini təmin edir. Aşağı ərimə temperaturu və çətin bərpa olu-nan braunmüllərit ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) birləşmələri hansı ki, filiz dənələrinin sərhəd-dində müşahidə olunur, onların əmələ gəlməsi müşahidə olunur. Okatişin mineral təş-kilediciləri, Flüsləşmiş əhəng, mel və yaxud dolomit kimi qatışıqlardan ibarətdir. Praktiki olaraq Flüsləşmiş okatişların strukturunda da əhəng iştirak edir.

Mikrostrukturun tədqiqinin nəticələri, metallurgiyada boksit tərkibli okatişin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılmasını proqnozlaşdırır.

#### **Nəticə.**

1. Beləliklə mikrostrukturun dəqiq alınmasını müəyyən qanunauyğunluqla okatişda olan filiz birləşmələrinin struktur formasını aşkara çıxarmağa kömək etdiyi aydınlaşdırılmışdır.

2. Birinci yandırılmış okatişin filiz olan hissəsində şıxtənin tərkibində müxtəlif tərkib əlavələrinin qatılması zamanı yandırma temperaturunun təsiri əhəmiyyətsiz oldu-ğu müəyyənəşdirilmişdir.

3. İstehsal olunan okatişin ümumi məsaməliliyin qeyd olunmasında Flüsləşdiril-məmiş qeyri metal tərkibli müqayisəsində başlıca olaraq əhəngin  $600-800^\circ\text{C}$  temperatur zamanı dissosiasiyasında boksit parçalanır.

4. Flüsləşmiş okatişda sonda silikat və kalsium-ferrit örtüyü yaranır və əksinə, Flüsləşməmiş okatişin səthində hətta boksit tərkibli okatişda belə əsasən hemotit fazası əmələ gəlir.

#### **ƏDƏBİYYAT**

1. Цейдлер, А.А. Технический анализ в металлургии / А.А. Цейдлер, –М.: Учеба, –2018.
2. Князев, Г.И. Замкнутые и фрагменторные рудные пояса / Г.И.Князев, –Киев: Наукова Думка. –2007, –261 с.
3. Эткинд, А. Природа зла. Сырье и государство / А.Эткинд, –М.: Новое литературное обозрение, –2020, –496 с.
4. Лялюк, В. Теоретические основы процессов горения топлива и газодинамики доменной плавки / В.Лялюк, –М.: ЛитРес, –2022, 280 с.
5. Ксендзовский, В.Р. Автоматизация процессов производства окатышей / В.Р.Ксендзовский, –М.: Металлургия, –1971, –214 с.
6. О. Reviews. Itogi Nauki i Tekhniki: Proizvodstvo Chuguna i Stali, Moscow, Volumes 18-20
7. Реферативный журнал: Металлургия, т.15, ВИНТИ, 1972.
8. Основы металлургии, Т.1, Гос. научно-техническое издательство литер. по серной и цветной металлургии. 1961.

**РЕЗЮМЕ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ШИТЫ НА СТРУКТУРУ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ  
РУДНЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ (ОКАТИШ) В ПРОИЗВОДСТВЕ**

***Гахраманов В.Ф.***

***Ключевые слова:*** таль, окатыш, температура, твердость, закалка, свойство, прочность

Формирование структуры сплава при производстве стали напрямую зависит от характера шлага, то есть его качества. Поэтому качество стали, в том числе стали, которая абсолютно необходима для качества стальной конструкции, является одним из важных вопросов. Принимая это во внимание, следует изучить структуру используемого кадра. В статье рассмотрено влияние структуры стали на качество стали

**SUMMARY**

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE CHARGE COMPOSITION ON THE  
STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF THE ORE INGREDIENTS (OKATISH) IN THE  
PRODUCTION**

***Gakhramanov V.F.***

***Keywords:*** steel, temper, temperature, hardness, temper, property, strength

The formation of the structure of the alloy in steel production directly depends on the nature of the slag, that is, its quality. Therefore, the quality of steel, including steel, which is absolutely required for the quality of the steel structure, is one of the important issues. Taking these into account, the structure of the shot used should be examined. In the article, the influence of the structure of steel on the quality of steel was considered

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 08.02.2023 |
|                   | Son variant   | 28.03.2023 |

UOT 621.31

DOI 10.54758/16801245\_2023\_23\_4\_81

## REAKTİV GÜCÜN MÜASİR ÜSULLARLA KOMPENSASIYASI

<sup>1</sup>ZEYNALOVA NURİDƏ FEYZULLA qızı<sup>2</sup>NURİYEVA NƏZAKƏT CƏMİL qızı<sup>3</sup>RƏCƏBOV KAMRAN DADAŞ oğlu<sup>4</sup>HACIYEV NAİB İSMİXAN oğlu [ORCID](#)*Azərbaycan Elmi-tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu, Bakı, Azərbaycan**1- dosent, 2- aparıcı mühəndis, 3- baş mütəxəssis**Sumqayıt Dövlət Universiteti, 4-prorektor*

*Açar sözlər:* aktiv güc, reaktiv güc, aktiv güc itkiləri, elektroenergetika sistemi, reaktiv gücün kompensasiyası.

**Elektroenergetik sistem dörd komponentdən ibarətdir:** istehsal, ötürmə, paylanma və tələbatçı.

Bu komponentlərin hər biri öz xüsusiyyətləri ilə elektroenergetik sistemin iş qabiliyyətinə və verilən elektrik enerjisinin keyfiyyətinə təsir göstərir. Elektrik enerjisindən səmərəli istifadə etmək üçün onun istehsalının, ötürülməsinin və paylanmasının iqtisadi yollarını minimum itkilərlə təmin etmək tələb olunur. Bunun üçün itkilərin yaranmasına gətirib çıxaran elektrik şəbəkə meyarlarını istisna etmək lazımdır. Xüsusilə, reaktiv gücün kompensasiyasını təmin etmək lazımdır.

Enerji təchizatı sisteminin yüklənməsi tam güclə müəyyən edilir, onun da aktiv təşkilədicisi faydalı şəkildə istehlak olunur və enerji mənbəyinə qaytarılır. Reaktiv təşkilədicisi isə elektrik şəbəkəsinin elementlərində maqnit və elektrik sahələrinin yaranması üçün lazımdır [1-5].

**Enerji sistemində reaktiv güc.** Enerji sisteminin işinin dayanıqlığı və keyfiyyəti aktiv və reaktiv güc balansı ilə təyin olunur:

Güclər balansına nəzarətin olmaması neqativ hallara səbəb olur, belə ki, elektrik təchizatının dayanıqlığı pozulur. Bu nəticələrin qarşısının alınması cəld təsir edən qurğuların köməyiylə real zaman anında gücün yenidən balanslaşdırılmasına təsir göstərməklə əldə edilə bilər.

Elektrik təchizat müəssisəsinin xətləri və transformatorları vasitəsilə əhəmiyyətli miqdarda reaktiv gücün ötürülməsi aşağıdakı səbəblərə görə sərfəli deyil:

1. Enerji təchizatı sistemlərinin bütün elementlərində onların reaktiv gücünün yüklənməsi səbəbindən aktiv gücün əlavə itkiləri yaranır:

2. Reaktiv gücün istehlakçıya ötürülməsi nəticəsində reaktiv gücün əlavə itkiləri yaranır.

3. Xətdə yalnız ötürülən aktiv gücün qiymətindən deyil, həm də ötürülən reaktiv gücün və xəttin reaktivliyinin qiymətindən asılı olan əlavə gərginlik itkiləri mövcuddur. Şəbəkə elementlərindən aktiv və reaktiv güclərin aktiv  $R$  və reaktiv  $X$  müqavimətləri ilə ötürülməsi zamanı gərginlik itkisi aşağıdakı qiyməti təşkil edir:

4. Elektrik verilişi xətti və transformatorların reaktiv güclə yüklənməsi, elektrik təchizatı şəbəkələrinin tutumunu azaldır ki, bu da bəzi hallarda elektrik avadanlıqlarının tam qoyuluş gücündən istifadə etməyə imkan vermir.

5. Transformatorların reaktiv güclə yüklənməsi zamanı onların faydalı iş əmsalı aşağı düşür.

6. Reaktiv gücün ötürülməsi, elektrik stansiyaların generatorlarının faydalı gücündən kifayət qədər istifadə edilməməsinə və xüsusi yanacaq sərfiyyatının artmasına səbəb olur.

### **FACTS qurğularının təsnifatı**

Yuxarıda göstərilənlərlə əlaqədar olaraq, reaktiv gücün kompensasiya qurğularının (KQ) istifadəsinin aktuallığı göz qabağındadır, səmərəliliyi çox yüksəkdir. Reaktiv gücün kompensasiya qurğularını statik və dinamik hissələrə bölmək olar.

Statik qurğulara kondensatorlar, statik kondensatorların bankları (SKB), harmonika filtrləri daxildir; dinamik qurğulara isə FACTS (Flexible AC Transmission System) konsepsiyasına daxil olan idarə oluna bilən tənzimləyici qurğular - dəyişən cərəyanın ötürülməsi üçün çevik idarəetmə sistemləri aiddir.

FACTS termini ilk dəfə 1988-ci ildə H.G. Hingorani (Elmi Tədqiqat elektroenergetika İnstitutu (EPRI), ABŞ) [1] tərəfindən istifadə edilmişdir. IEEE-nin işçi qrupu FACTS-i "idarəetmə qabiliyyətini yaxşılaşdırmaq və tutumu artırmaq üçün güc elektronika və digər statik tənzimləyiciləri birləşdirən dəyişən cərəyanın ötürmə sistemləri" kimi müəyyən edir.

FACTS ən perspektivli elektrik şəbəkəsi texnologiyalarından biridir və elektrik veriliş xətlərinin parametrlərinə avtomatik nəzarət etmək üçün texniki və informasiya vasitələri toplusudur.

FACTS qurğuları elektrik şəbəkəsini elektrik enerjisinin nəqli üçün passiv qurğudan elektrik şəbəkələrinin iş rejimlərinin idarə edilməsində fəal iştirak edən qurğuya çevirmək problemini və güc əmsalına düzəliş etmək, itkiləri minimuma endirmək və s. həll edir.

Birinci nəsil FACTS qurğularına (FACTS-1) elektrik şəbəkələrində gərginlik tənzimləməsini (reaktiv güc) və lazımi dərəcədə reaktiv gücün kompensasiyasını təmin edən qurğular daxildir (STK, tiristorla idarə olunan reaktor, idarə olunan uzununa kompensator, faza dəyişən transformator və s. aiddir) [1].

İkinci nəslin ən yeni FACTS qurğuları (FACTS-2) tam idarə olunan güc elektronika cihazları əsasında rejim parametrlərinin tənzimlənməsini təmin edən qurğuları əhatə edir: izolyasiya edilmiş qapılı bipolyar tranzistorlar (IGBT), integral edilmiş IGCT drayveri ilə kilidli tiristorlar və s. FACTS- 2 tənzimləmənin yeni keyfiyyətinə malikdir:

– elektrik şəbəkəsinin gərginlik vektorunun təkcə mütləq qiyməti deyil, həm də fazası tənzimləndikdə belə qurğulara vektor tənzimlənmə qurğuları deyilir. Bunlara aşağıdakı qurğular aiddir: sinxron statik kompensator (STATCOM), gərginlik çeviricisi bazasında reaktiv gücün sinxron statik uzununa kompensatoru, güc axınının universal tənzimləyicisi, fazaçevirici qurğular, asinxronlaşdırılmış sinxron kompensator, asinxronlaşdırılmış sinxron elektromexaniki tezlik çeviricisi, fazaçevirən transformator aiddir.

İkinci nəsil qurğular enerji sistemi ilə aktiv və reaktiv gücü mübadilə etmək, həmçinin sistemlə mübadilədən sonra reaktiv enerji yaratmaq və ya udmaq qabiliyyətinə malikdir. Belə xüsusiyyətlərə bütün ikinci nəsil FACTS qurğularının əsaslandığı gərginlik çeviricisi (və ya inverter) malikdir.

Bütün FACTS qurğuları statik və elektromaşın sistemlər olmaqla iki yerə bölünür [6-8]. Statik sistemlərə aşağıdakılar aiddir:

- Tiristorla idarə olunan maqnit gücləndiricisi və ya transformator tipli (reaktor transformator) idarə olunan şunt reaktorları (İŞR);
- vakuum açarları ilə işləyən reaktorlar;
- bir və ya bir neçə tiristor-reaktor qrupundan və süzgəc -kompensasiya dövrəsindən ibarət statik tiristorlu reaktiv güc kompensatorları;
- şəbəkəyə paralel
- qoşulmuş gərginlik çeviricisi bazası əsasında STATCOM tipli sinxron statik reaktiv güc kompensatorları;
- gərginlik çeviricisi bazası əsasında statik uzununa kompensator;
- sabit cərəyan dövrlərinə qoşulmuş paralel və ardıcıl gərginlik çeviricilərinə əsaslanan güc axınının tənzimləyicisi;

FACTS elektromaşın qurğuları - xüsusi idarəetmə sxemindən istifadə edərək, vektor gərginliyinin tənzimlənməsini təmin edən elektrik maşınının və çeviricinin sintezidir.

Elektromaşın sistem qrupunu aşağıdakı qurğular təşkil edir:

- asinxronlaşdırılmış sinxron kompensatorlar;
- asinxronlaşdırılmış elektromaşın tezlik çeviriciləri;
- faza dəyişən transformator.

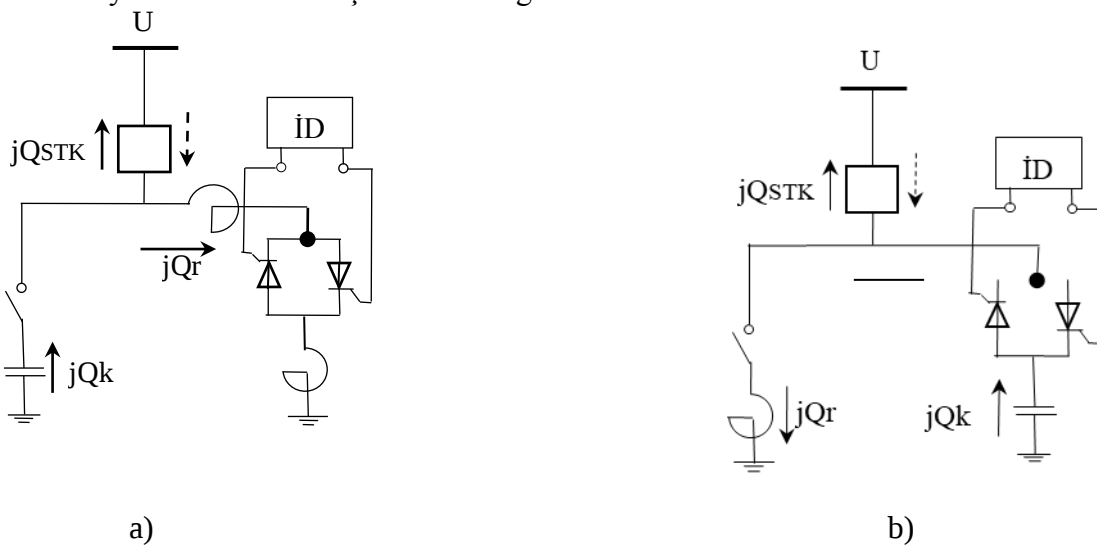
Şəbəkəyə qoşulma üsulundan asılı olaraq, bütün qurğular üç hissəyə bölünür [6-8]:

- paralel kompensasiya qurğuları,
- ardıcıl kompensasiya qurğuları,
- ardıcıl-paralel kompensasiya qurğuları və ya kombinə olunmuş qurğular.

İstənilən ardıcıl və ya paralel bir qurğu, elektrik verilişi xətti ilə ardıcıl və ya paralel qoşulmuş tənzimlənən gərginlik mənbəyi kimi təsvir oluna bilər. Beləliklə, hər hansı bir FACTS qurğusunun şəbəkəyə təsirinə, paralel cərəyan mənbəyi və ya ardıcıl gərginlik generasiya mənbəyi kimi baxıla bilər. Statik tiristor kompensatorları və statik sinxron kompensatorlar (STATCOM) FACTS qurğuları arasında geniş yayılmışdır.

**Statik tiristor kompensatorlar** – tiristor nəzarəti sayəsində müstəsna sürətə, geniş işləmə diapazonuna və yüksək etibarlılığa malik olan paralel qoşulan cihazlardır. STK-nın əsas funksiyası onun qoşulduğu yerdə reaktiv gücün daxil olmasına nəzarət etməklə nəzərdən keçirilən qovşaqlarda gərginliyi tənzimləməkdir, beləliklə, STK şəbəkənin təyin olunmuş düyün nöqtəsində gərginliyi daim müəyyən səviyyədə saxlayır [6-10].

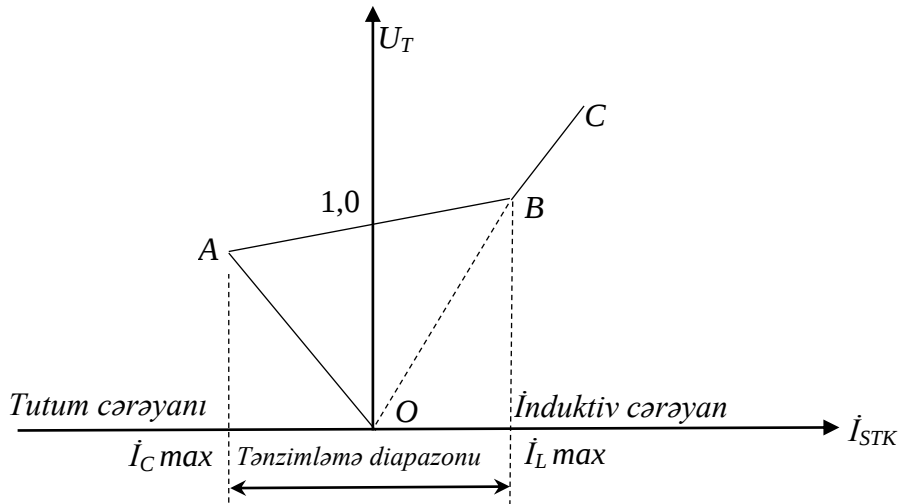
Gərginliyin nominal səviyyədə saxlanması tələbatçıların normal işi üçün vacibdir. Aşağı gərginlik elektrik mühərrikləri və s. kimi istehlakçıların işinin pozulmasına səbəb olur, həddindən artıq gərginlik isə nəticədə maqnitlə doyma və harmoniklərin yaranmasına və izolyasiyanın pozulması nəticəsində avadanlıqların sıradan çıxmasına səbəb olur. STK enerji sistemlərinin yarımsansiyalarında quraşdırılır və yüksək gərginlikli şəbəkəyə qoşulmaq və istehlak olunan reaktiv gücü idarə etmək üçün müxtəlif sxemlərə malikdir. STK-nın əsasını saxlama elementləri (tutumlar, induktivliklər), reaktor-tiristor və kondensator-tiristor blokları təşkil edir. Şəkil 1-də STK-nın iki prinsipial sxemi verilmişdir, gücü dəyişməz qalan kondensator batareyaları (şəkil 1, a) və ya reaktorlardan ibarət qrup (şəkil 1, b). STK-nın gücünün səlis idarə olunması qarşılıqlı-paralel idarə olunan idarəetmə qurğusu (İD) ilə təchiz edilmiş ventil – tiristorların vasitəsilə yerinə yetirilir. Bunların da köməyi ilə tiristorların açılması və bağlanması anı tənzimlənir.



**Şəkil 1.** STK-nın prinsipial sxemi: a – reaktorun tənzimlənən gücü ilə;  
b – kondensator batareyalarının tənzimlənən gücü ilə

İdarə olunan reaktor əsasında STK-nın istifadəsi reaktiv gücün kompensasiyası probleminin həllinə və elektrik şəbəkəsində enerji itkilərinin azaldılmasına daha çevik yanaşma tapmağa imkan verir. STK-nın cəld işləməsi müxtəlif iş rejimlərində şəbəkədə gərginliyin qiymətini dəyişməz saxlamaq üçün lazım olan reaktiv gücün fasiləsiz istehsalı və ya istehlakını təmin edir. Kompensator həmçinin gücün meylətməsini də dempirləməyə qadirdir. Paralel qoşulmuş KB-lərlə müqayisədə STK-nın ekvivalent müqavimətinin tənzimlənməsi və müvafiq olaraq, onun çıxışında reaktiv gücün tənzimlənməsi fasiləsiz olaraq həyata keçirilir.

STK-nın volt-ampere xarakteristikası şəkil 2-də verilmişdir [1]. Xarakteristika gərginliyin və kompensatorun mövcud gücünün saxlanması üçün müəyyən edilmiş şərtlərlə müəyyən edilmiş bir meyliyə malikdir. O, STK-nın paralel işini təmin edir.



Şəkil 2. STK-nın volt-ampere xarakteristikası

Stasionar rejimdə STK-nın fəaliyyətini təyin edən 3 işçi sahə mövcuddur:

- Tənzimləmə diapazonu, STK qoşulan düyün nöqtəsində gərginliyin verilmiş qiyməti qorunub saxlanılır. Bu sahə tələb olunan reaktiv gücün yaranması və ya istehlakı nəticəsində AB xarakteristikası üzrə iş nöqtəsi ilə müəyyən edilir
- Yüksək gərginlik bölgəsi BC-dir, burada kompensator tənzimlənməmiş reaktor kimi maksimal induktiv rejimdə işləyir.
- Aşağı gərginlik sahəsi – OA-dır, burada kompensator tənzimlənməyən kondensator batareyası kimi maksimal tutum rejimində işləyir. Qeyd etmək lazımdır ki, bu rejimdə STK KB-yə xas olan gərginliyə mənfi tənzimləyici təsir effekti ilə xarakterizə olunur.

Tənzimləmə diapazonunun hədləri tutum və induktiv rejimlərdə maksimal cərəyan qiymətləri ilə müəyyən edilir. STK-nın çoxfunksionallığı bir sıra problemləri həll etmək üçün elektrik şəbəkələrində onların əsaslandırılmış istifadəni müəyyənləşdirir, məsələn:

- reaktiv gücün kompensasiyası;
- elektrik şəbəkəsinin hər hansı hissəsində gərginliyin stabilləşdirilməsi (elektrik şəbəkəsinin düyünlərində gərginliyin tənzimlənməsi STK-nın əsas işidir);
- elektrik enerji keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması.

Kəskin dəyişən yükü olan istehlakçıların olduğu qovşaqlarda STK nın quraşdırılması reaktiv gücün, müvafiq olaraq qovşaqdakı gərginliyin sürətli və səlis tənzimlənməsi hesabına istehlakçıların elektrik enerjisinin keyfiyyətini yaxşılaşdıracaq.

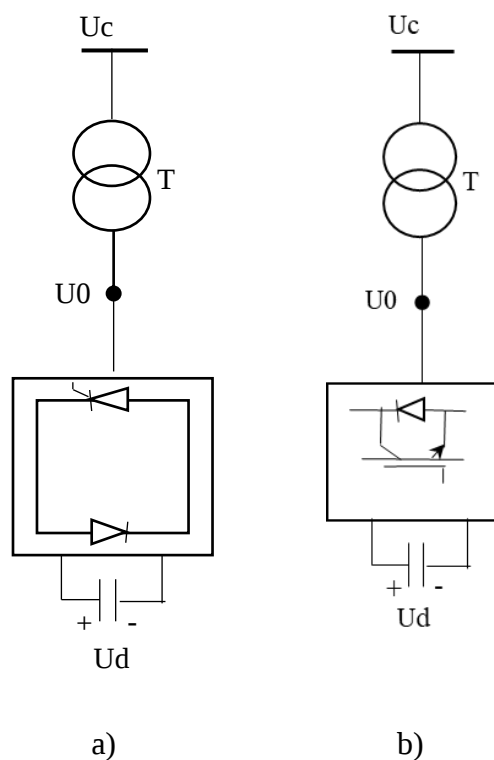
STK-nın idarə olunması qismən idarə olunan tiristorların istifadəsinə əsaslanır. Kilidlənən tiristorların (GTO, IGCT) və idarə olunan bipolyar tranzistorların (IGBT) yaranması tam idarə olunan yarımkeçirici çeviricilərin - invertorların və onların əsasında yeni nəsil qurğunun - STATCOM-un yaradılmasına səbəb oldu. STATCOM reaktiv gücün və nəticədə gərginliyin

sinxron mənbəyidir. SK-dən fərqli olaraq, STATCOM reaktiv gücün çıxışına və istehlakına yüksək sürətli nəzarətə malikdir.

Onun tərkibinə sabit cərəyan tərəfdə tutum saxlama ilə gərginlik çeviricisi, rabitə transformatoru və idarəetmə sistemi daxildir. Element bazasından asılı olaraq, gərginlik çeviricilərinin iki versiyası var. Birincisi GTO qapalı tiristorların istifadəsinə əsaslanır [1]. İkinci halda, gərginlik çevirici dövrə güc tranzistorları üzərində qurulur (şəkil 3).

STATCOM-un iş prinsipi ventil dolağının gərginliyinin dəyişməsinə əsaslanır. Şəbəkə və ventil dolaqları arasındakı gərginlik fərqi asılı olaraq, statik kompensator invertor və ya düzləndirici rejimlərində işləmək, reaktiv güc yaratmaq və ya istehlak etmək qabiliyyətinə malikdir. Bu, güclü saxlama elementlərinin quraşdırılması ehtiyacını aradan qaldırır. Şəbəkə dolağının gərginliyi ventil dolağının gərginliyindən böyükdürsə, onda statik kompensator şəbəkədən reaktiv güc istehlak edir, azdırsa, reaktiv güc verir.

Beləliklə, STATCOM reaktiv gücün həm induktiv, həm də tutum kompensasiyasını yerinə yetirə bilər.



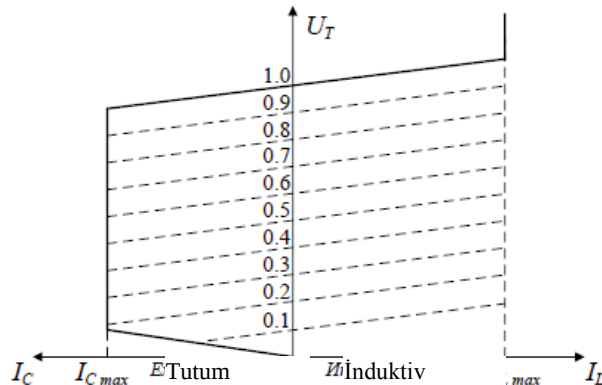
**Şəkil 3.** STATCOM-un sxemi: a – GTO tiristorları ilə; b – IGBT tranzistorları ilə

Kondensator batareyalarında gərginliyin dəyişməsi çeviricinin invertor və ya düzləndirici rejiminə keçməsi ilə müşayiət olunur. Sabit cərəyan tərəfdə gərginliyin qiymətini artırmaq üçün kondensatorun tutumunu artırmaq lazımdır, yəni, çeviricini düzləndirici rejiminə çevirmək lazımdır (reaktiv güc tələbatı).

STATCOM vektor tənzimlənməsi kimi funksional xüsusiyyətə malikdir. Bu, kompensatorların gərginliyin modulunu və fazasını eyni vaxtda dəyişdirmək qabiliyyətinə əsaslanır ki, bu da bu cihazın STK-dan üstünlüyünü vurğulayır. Əgər gərginlik çeviricisinin sabit cərəyan tərəfində enerji saxlama qurğusu quraşdırılıbsa, o zaman STATCOM da aktiv enerji mənbəyi hesab edilə bilər.

STATCOM-un volt-ampere xarakteristikası şəkil 4-də verilmişdir. Bu, kompensatorun həm tutum, həm də induktiv rejimlərdə həddindən artıq yüklərlə işləmə qabiliyyətini təsdiqləyir. Böyük

pozuntular zamanı statik kompensatorun tutum rejimində yaratdığı maksimum cərəyan çeviricinin idarəetmə ventillər ilə dəyişdirilə bilən maksimum cərəyanla müəyyən edilir.



Şəkil 4. STATCOM-un volt-ampere xarakteristikası

Gərginlik azaldıqda, STATCOM həddindən artıq cərəyan vasitəsilə eyni reaktiv güc generasiya edəcək, dinamik dayanıqlıq həddini artıracaq, STK tərəfindən generasiya olunan güc isə gərginliyin kvadratına uyğun olaraq azalacaq.

Quraşdırma və tətbiq etmə nisbətən yüksək qiymətə başa gəlsə də, STATCOM xaricdə, xüsusilə Yaponiya, ABŞ, Avstraliya, Danimarkada geniş istifadə olunur.

FACTS qurğularının quraşdırıldığı mövcud xətlər və yarımstansiyalar aşağıdakılara gətirir:

1. Sinxron dayanıqlığın artması.
2. Enerji ötürülməsi qabiliyyətinin artırılması.
3. Şəbəkədə gərginliyin sabitliyinin artması.
4. Yük paylaşma qabiliyyətinin təkmilləşdirilməsi.
5. Enerjinin ötürülməsi itkilərinin azalması.
6. Şəbəkələrdə enerji keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması.

**Nəticə.** Enerji sistemində idarə olunan güc balansının olmaması mənfi nəticələrə səbəb ola bilər. Bunun qarşısının alınması enerji sistemində baş verən proseslərin tempinə uyğun aparılmalıdır.

“Azərenerji” ASC-nin 220-330-500 kV gərginlikli qapalı qeyri-bircins ekvivalent şəbəkəsinin rejimlərinin modelləşdirilməsinin nəticələri təhlil olunmuş və müəyyən edilmişdir ki, FACTS qurğularının tətbiqi nəticəsində ötürülən gücün əhəmiyyətli dərəcədə artırılmasını, gərginliyin səviyyələrinin yaxşılaşmasını və itkilərin azalmasını təmin etmək mümkündür. Müəyyən olunmuşdur ki, gərginliklərin saxlanması və itkilərin azaldılması nöqtəyi-nəzərindən ən effektiv və birinci dərəcəli tədbir 220 kV gərginlikli Abşeron yarımstansiyasında və Mingəçevir-Abşeron xəttində yerləşdirilməsidir.

FACTS qurğuları müasir informasiya və kompüter texnologiyaları ilə birlikdə bu problemləri həll etməyə imkan verir və intellektual enerji təchizatı sistemlərinin yaradılmasına töhfə verir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Gyugyi, L. Understanding FACTS – Concepts and technology of Flexible AC Transmission Systems / L. Gyugyi, N.G. Hingorani // IEEE Press, - 1999. - 452 p.
2. Карпов, Ф. Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях / Ф. Ф. Карпов. – М.: БНТУ, 2013, № 3
3. Balametov, Ə.B. Azərbaycan elektroenergetika sisteminin elektrik şəbəkələrində reaktiv gücün tələbatının səviyyəsi haqqında / Ə.B.Balametov, E.D.Xəlilov, E.C.Baxışov. – Bakı: Energetikanın problemləri, –2011, №1.
4. Zərbiyeva N.F. Mövcud şəraitdə paylayıcı elektrik şəbəkələrində reaktiv gücün

- компенсациyasına dair // Energetikanın problemləri. –2008. № 2-3, –с.1-7.
5. Рзаев, Б.Г. Оценка экономической и технико-экономических эффектов от внедрения международного опыта и технологии оплаты реактивной энергии / Б.Г.Рзаев, А.М.Кулиев // Проблемы энергетики, –2017, №1, –с.27.
5. FACTS Technology – State of Art, Current Challenges and the Future Prospects. IEEE, –2007. – pp. 392–395.
6. СТО 56947007-29.240.019-2009. Методика оценки технико-экономической эффективности применения устройств FACTS в ЕНЭС России. –М., –2009.
7. Matur, R. Thyristor-based FACTS controllers for electrical transmission systems / R.Matur, R.Karma –NY: WileyIEEE Press, –2002. –518 p.
8. Bindeshwar, S. Introduction to FACTS controllers. A critical review /. Bindeshwar S., Verma K. [et al.] // International journal of reviews in computing. –2011. Vol. 8. –pp. 17–34.
9. Balametov, A.B. About Increase of Azerbaijan Power System Efficiency with Facts Devices / A.B.Balametov, E.D.Halilov // Transaction on electrical and electronic circuits and system, – 2014. vol. 4(10), –p. 50-58.
10. Халилов, Э.Д. О моделировании режимов электроэнергетических систем с устройствами FACTS // - М.: Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ, - 2017. Т. 60. № 4, – с. 341–351.

#### РЕЗЮМЕ

#### КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ

*Зейналова Н.Ф., Нуриева Н.Д., Раджабов К.Д., Гаджиев Н.И.*

**Ключевые слова:** активная мощность, реактивная мощность

Известно, что электроэнергетическая система состоит из следующих составляющих: производства, передачи, распределения и потребления. Существует ряд методов повышения качества электроэнергии в распределительных и магистральных сетях. Компенсация реактивной мощности является одним из таких методов. В данной статье рассматривается одно из технических решений, используемых для повышения качества электроэнергии – компенсация реактивной мощности. В статье особо отмечены принцип работы и характеристики управляемых устройств FACTS, статических тиристорных компенсаторов (СТК) и статических синхронных компенсаторов реактивной мощности СТАТКОМ. Отмечается важность применения устройств компенсации реактивной мощности на базе устройств FACTS.

#### SUMMARY

#### REACTIVE POWER OF COMPENSATION BY MODERN METHODS

*Zeynalova N.F., Nuriyeva N.D., Rajabov K.D., Hajiyevev N.I.*

**Keywords:** active power, reactive power, active power losses, electric power system, reactive power compensation.

It is known that the electric power system consists of the following organizations: production, transmission, distribution and consumer. There are a number of methods to improve the quality of electricity in distribution and main networks. Reactive power compensation is one of those methods. This article talks about looks at one of the technical solutions used to improve the quality of electricity - reactive power compensation. The working principle and characteristics of controlled FACTS devices, static thyristor compensators (STC) and STATCOM static synchronous reactive power compensator are specifically mentioned in the article. The importance of applying reactive power compensation devices based on FACTS devices is noted.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 24.02.2023 |
|                   | Son variant   | 13.03.2023 |

## SİNXRON MAŞININ RİYAZİ MODELİNİN TƏRTİBİ VƏ MATLAB MÜHİTİNDƏ MODELƏŞDİRİLMƏSİ

<sup>1</sup>ABDULOVA NAFİSƏ ABDULFƏS qızı [ORCID](#)

<sup>2</sup>CAMALƏDDİNOVA ÜLKƏR HİKMƏT qızı

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, 1-dosent, 2-laborant*

[abdulovanafise@gmail.com](mailto:abdulovanafise@gmail.com), [ulker.musayev93@mail.ru](mailto:ulker.musayev93@mail.ru)

**Açar sözləri:** *SimPowerSystems Simulink, generator, riyazi modeli, təsirlənmə dolaqları, dempfer dolaqları*

Sinxron maşınlar xalq təsərrüfatının bir çox sahələrində, xüsusən də mobil və stasionar elektrik stansiyalarında generator, sürətə nəzarət tələb etməyən və ya sabit sürət tələb edən qurğularda mühərrik kimi istifadə olunur. Açıq qütblü fırlanan rotorlu sinxron maşının ən çox yayılmış sxemi. Bəzən aşağı gücə malik (15 kVt-a qədər) qabarıq qütblü sinxron maşınlar SC maşınlarının sxeminə uyğun olaraq yerinə yetirilir, yəni statorda yerləşən dirəklərlə kontakt halqaları ilə əvəz olunur.

Hazırda elektrik enerjisi sistemlərini öyrənmək üçün kompüter modelləşdirməsindən istifadə olunur. Sinxron generatorlar elektrik enerjisi sistemlərinin bir hissəsi kimi elektrik enerjisi mənbəyi olduğundan, bu sistemlərin modelləşdirilməsində onların dəqiq riyazi təsviri və kompüterin tətbiqi mühüm əhəmiyyət kəsb edir [1].

Xüsusi proqram təminatının istifadəsi elektrik enerjisi sisteminin kompüter modelinin yaradılması tapşırığını asanlaşdırmağa imkan verir. Elektrik cihazlarının və sistemlərinin, xüsusən də sinxron generatorun modelləşdirilməsi üçün belə paketlərdən biri SimPowerSystems blok kitabxanası ilə Simulink mühitidir. SimPowerSystems kitabxanasında elektrik cihazlarının simulyasiya modelləşdirilməsi üçün bloklar sistemi var. Kitabxanada passiv və aktiv elektrik elementlərinin maketləri, enerji mənbələri, elektrik mühərrikləri, transformatorlar, elektrik xətləri və s. avadanlıq. Güc elektronika cihazlarının modelləşdirilməsi üçün blokları, o cümlədən onlar üçün idarəetmə sistemlərini ehtiva edən bölmə də var. Simulink və SimPowerSystems-in xüsusi imkanlarından istifadə etməklə nəinki vaxt domenində cihazların işini imitasiya etmək, həm də bu cür cihazların müxtəlif növ analizlərini həyata keçirmək mümkündür [1,3].

Beləliklə, SimPowerSystems Simulink-in bir hissəsi kimi hal-hazırda elektrik enerjisi sistemlərinin modelləşdirilməsi üçün ən yaxşı paketlərdən biri hesab edilə bilər. Simulink mühitində təqdim olunan sinxron maşının riyazi modeli (SimPowerSystem tətbiqi) dempfer dolaqları olan sinxron maşının klassik modelidir. Rotorun fırlanma istiqaməti saat əqrəbinin əksinə qəbul edilir.

MATLAB/Simulink mühitində həyata keçirilən sinxron generatorun riyazi modeli gərginliklər üçün 6-cı dərəcəli diferensial tənliklər sistemindən və axın əlaqələrinin hesablanması üçün cəbri tənliklər sistemindən ibarətdir. Ümumiyyətlə, sinxron maşın rotorunda təsirlənmə dolağı və bir və ya daha çox dempfer dolaqları var. Bundan əlavə, bütün rotor dolaqları fərqli elektrik xüsusiyyətlərinə malikdir.

Elektrik gərginliyi tənlikləri hər faz dolaqları üçün Kirxhoff qanunu əsasında alınır [1,2].

- Stator gərginlik tənlikləri:

$$U_d = R_s i_d + \frac{d}{dt} \varphi_d - \omega_R \varphi_q \quad (1)$$

$$U_q = R_s i_q + \frac{d}{dt} \varphi_q - \omega_R \varphi_d \quad (2)$$

- Təsirlənmə dolağının gərginlik tənliyi:

$$U'_{fq} = R'_{fd}i'_{fq} + \frac{d}{dt}\varphi'_{fd}, \quad (3)$$

- Dempfer dolağının tənlikləri:

$$U'_{kd1} = R'_{kd}i'_{kd} + \frac{d}{dt}\varphi'_{kd}, \quad (4)$$

$$U'_{kq1} = R'_{kq1}i'_{kq1} + \frac{d}{dt}\varphi'_{kq1}, \quad (5)$$

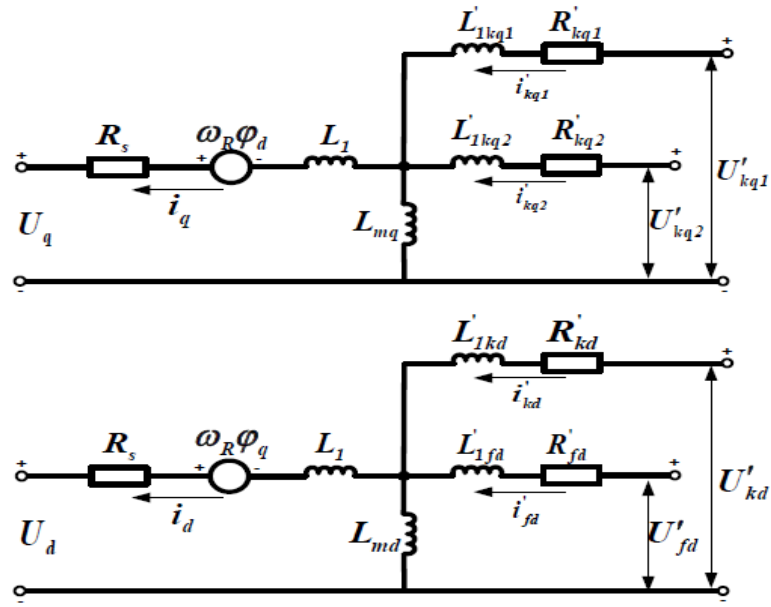
$$U'_{kq2} = R'_{kd2}i'_{sq2} + \frac{d}{dt}\varphi'_{kq2}. \quad (6)$$

Burada,  $\varphi_d$ ,  $\varphi_q$ ,  $\varphi'_{fd}$ ,  $\varphi'_{kd}$ ,  $\varphi'_{kq1}$ ,  $\varphi'_{kq2}$  - müvafiq olaraq, uzununa və eninə oxlar (d-q) boyunca axın əlaqəsi, təsirlənmə dolaqları və sinxron maşının dempfer dolaqlarının axın əlaqəsi cəbri tənliklər sistemindən istifadə etməklə hesablanır:

$$\begin{aligned} \varphi_d &= L_d i_d + L_{md}(i'_{fd} + i'_{kd}); \\ \varphi_q &= L_q i_q + L_{mq} i'_{kq} \\ \varphi'_{fd} &= L'_{fd} i'_{fd} + L_{md}(i_d + i'_{kd}) \\ \varphi'_{kd} &= L'_{kd} i'_{kd} + L_{md}(i_d + i'_{fd}); \\ \varphi'_{kq1} &= L'_{kq1} i'_{kq1} + L_{mq} i_q; \\ \varphi'_{kq2} &= L'_{kq2} i'_{kq2} + L_{mq} i_q; \end{aligned} \quad (7)$$

Burada aşağıdakı parametrlər təqdim olunur:

- $\omega_r$  – rotorun fırlanma bucaq sürəti;
  - $U_d$  - uzununa ox boyunca statorun (lövbər dolağı) gərginliyi d;
  - $U_q$  - eninə ox boyunca statorun (lövbər dolağı) gərginliyi q;
  - $i_d$  - d oxu boyunca stator cərəyanı;
  - $i_q$  - q oxu boyunca stator cərəyanı;
  - $U'_{fd}$  – təsirlənmə dolaq gərginliyi;
  - $i'_{fd}$  – təsirlənmə dolaqlarında cərəyan;
  - $U'_{kd}$ ,  $U'_{1kq}$ ,  $U'_{2kq}$  – d və q oxları boyunca dempfer dolaq gərginlikləri;
  - $i'_{kd}$ ,  $i'_{1kq}$ ,  $i'_{2sq}$  – d və q oxları boyunca dempfer dolaq cərəyanları;
  - $R_s$  – stator fazasının aktiv müqaviməti;
  - $L_d$ ,  $L_q$  – d və q oxları boyunca lövbər dolağının induksiya;
  - $L_{md}$ ,  $L_{mq}$  - d və q oxları boyunca sarımlar arasında qarşılıqlı induksiya;
  - $R'_{fd}$  – təsirlənmə dolağının aktiv müqaviməti;
  - $L'_{fd}$  – təsirlənmə dolağının induksiya;
  - $R'_{kd}$ ,  $R'_{1kq}$ ,  $R'_{2kd}$  – d və q uzununa və eninə oxlar boyunca dempfer dolaqlarının aktiv müqavimətləri;
  - $L'_{kd}$ ,  $L'_{1kq}$ ,  $L'_{2kq}$  – d və q uzununa və eninə oxlar boyunca dempfer dolaqlarının induktivliyi;
- (1) - (7) tənlikləri sinxron generatorun elektrik hissəsinin ekvivalent dövrəsini təsvir edir. Ekvivalent sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Sinxron maşının ekvivalent sxemi.

Sinxron maşının mexaniki hissəsi aşağıdakı tənliklər sistemi ilə təmsil olunur [1]

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{2J} (T_m - T_e - K_d \Delta\omega), \quad (8)$$

$$\omega(t) = \Delta\omega + \omega_0, \quad (9)$$

Burada,  $\Delta\omega$  - rotor sürətinin sinxron sürətdən fərqi;

$J$  - rotorun ətalət momentidir;

$T_m$  - mexaniki momentdir;

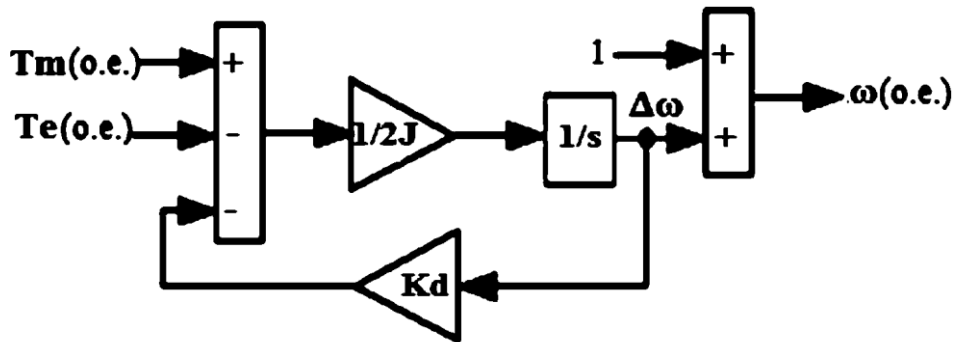
$T_e$  - elektromaqnit momentidir;

$K_d$  - dempferlənmə əmsalındır;

$\omega_t$  - rotorun bucaq sürəti;

$\omega_0$  - sinxron sürət

Şəkil 2-də sinxron maşın modelinin mexaniki hissəsinin blok sxemi göstərilir.



Şəkil 2. Sinxron maşının mexaniki hissəsi

Blok diaqram aydın şəkildə göstərir ki, SM modelində sürət dəyərinin özü deyil, rotorun sürətinin sinxronundan fərqi hesablanır.

## ƏDƏBİYYAT

1. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин / И. П. Копылов. – М.: Высшая школа, 2001. – 327 с.
2. Герман-Галкин, С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0 / С. Г. Герман-Галкин. – СПб.: Корона – Принт, - 2001.
3. Меркурьев, Г.В. Устойчивость энергосистем. Монография / Г.В. Меркурьев, Ю.М. Шаргин // - СПб.: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2006. – 300 с.

## РЕЗЮМЕ

### СОСТАВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ MATLAB

*Абдулова Н.А., Джамаладдинова У.Х.*

**Ключевые слова:** *SimPowerSystems Simulink, генератор, математическая модель, обмотку возбуждения, демпферными обмотками*

В статье рассмотрено построение математической модели синхронной машины, наиболее распространенной схемы синхронной машины с вращающимся ротором с разомкнутыми полюсами, уравнения напряжения статора, уравнение напряжения обмотки возбуждения, уравнению демпферного контура, построение блок-схемы механической части модели синхронной машины и ее моделирование в SimPowerSystems Simulink.

## SUMMARY

### COMPOSITION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE SYNCHRONOUS MACHINE AND MODELING IN THE MATLAB ENVIRONMENT

*Abdulova N.A., Jamaladdinova U.H.*

**Keywords:** *SimPowerSystems Simulink, generator, mathematical model, excitation winding, damper windings*

In the article, the construction of the mathematical model of the synchronous machine, the construction of the most common scheme of the open-pole rotating rotor synchronous machine, the stator voltage equations, the voltage equation of the induced loop, the equations of the damper loop, the construction of the block diagram of the mechanical part of the synchronous machine model and its modeling in SimPowerSystems Simulink were considered.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 27.02.2023 |
|                   | Son variant   | 15.03.2023 |

UOT 681.518

DOI 10.54758/16801245\_2023\_23\_4\_93

## MÜXTƏLİF NÖVLÜ QEYRİ-SƏLİS VERİLƏNLƏRİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ VƏ AQREQASIYASI

XUDAVERDİYEVA MƏHƏBBƏT ƏSGƏR qızı [ORCID](#)

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan, assistent  
[khudaverdieva62@mail.ru](mailto:khudaverdieva62@mail.ru)

*Açar sözlər:* Qeyri-səlis təsnifat, qeyri-səlis modelləşdirilmə, sensor, histoqram, aqreqasiya.

Real dünyada bəzən mövcud məlumatların dəqiq rəqəmlərlə qiymətləndirilə bilmədiyi vəziyyətlərlə qarşılaşırıq və bu cür məlumatları yüksək dərəcədə qeyri-müəyyənlik və ya qeyri-səlisliklə təqdim etmək üçün başqa bir yanaşmadan istifadə etmək lazımdır. Bu vəziyyətdə, qeyri-səlis ədədlər, interval nömrələri və linqvistik dəyişənlər daxil olmaqla bir neçə üsul mövcuddur. Əksər hallarda, toplama operatorları sırf aksiomatik əsasda təyin olunur və ya məntiqi bağlayıcılar (t-normlar və t-conormlar kimi) və ya kompensasiya effektinə imkan verən ortalamalı operatorlar, məsələn, arifmetik orta kimi şərh olunur. Digər tərəfdən, yuxarıda göstərilən operator siniflərinin insanların praktikada istifadə etdiklərindən fərqli olduğunu bəzi empirik testlərlə müşahidə etmək olar. Buna görə də müəyyən mənada əvvəlkilərin qarışığı olan və müəyyən dərəcədə kompensasiyaya imkan verən operatorları tapmaq vacibdir [1]. Ekspertizanın səviyyəsindən asılı olaraq hər bir ekspertin  $x$  məlumatı bu ekspertin təcrübəsini və ya dəqiqliyini əks etdirən fərdi qeyri-müəyyənlik və ya qeyri-müəyyənlik dərəcəsi ilə əlaqələndirilir. Həmçinin, ekspert bildirişlərinin keyfiyyəti verilmiş məlumatın təzahürü ilə fərqlənə bilər, yəni işarə sahəsindəki yerdən asılıdır. Məlumat linqvistik dəyişənlər və ya dəyişdiricilər şəklində verilsə məsələn, “təxminən 20 sm”, dəqiq mühəndis tərəfindən “təxminən” göstərilən qeyri-müəyyənliyin şərh, ehtimal ki, məkan konstruktorunun şərhindən fərqli olacaq.

Digər tərəfdən, ölçmələr vasitəsi ilə bir sistem və ya prosesi müşahidə edərkən, ölçülmüş kəmiyyət demək olar ki, həmişə müxtəlif növ qeyri-müəyyənliyə məruz qalır [2]. Məsələn, bizi maraqlandıran fiziki kəmiyyəti ölçmək üçün bir sensoru nəzərdən keçirsək, sensorun çıxışı  $f^*$  çox güman ki, sensor prinsipindən və onun həyata keçirilməsindən asılı olaraq faktiki fiziki kəmiyyət  $X^*$  ilə düz mütənəsb olmur, əksinə  $f(x)$  qeyri-xətti asılılığın nəticəsidir.

Oxunuşları  $f(x)$  müxtəlif qeyri-müəyyənlik intervalları ilə faktiki fiziki kəmiyyətin  $X^*$  qiymətlərinə səbəb ola bilər. Həmçinin, xüsusiyyətlər müxtəlif (qeyri-stasionar) ölçmə şərtləri altında hətta bir sensor üçün dəyişə bilər.

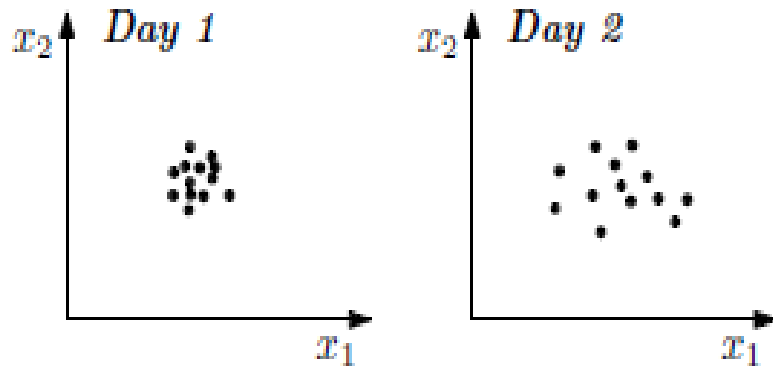
İki fərqli sensoru və ya sensor prinsipini nəzərdən keçirsək,  $f * \Delta f$  oxunuşunun oxşar qeyri-müəyyən sensoru daha sonra müxtəlif, asimmetrik qeyri-müəyyənlik səviyyələri ilə faktiki fiziki kəmiyyətin qiymətlərinə çevrilir. Müxtəlif sensorlardan alınan məlumatların birləşməsi hər bir  $X^*$  ölçünün fərdi qeyri-müəyyənliyini nəzərə almalıdır. Bundan əlavə, sensor xüsusiyyətləri zaman və ya şərtlərlə dəyişə bilər ki, bu halda qeyri-müəyyənlik intervalı üçün dəqiq dəyərlər əldə edilə bilməz və  $f(x)$  üçün yalnız qeyri-müəyyən model müəyyən edilə bilər.

Sensorların qeyri-xətti xarakteristikaları üçün modellər mövcud olmadıqda, istənilən  $X$  fiziki dəyərinin fərdi, asimmetrik qeyri-müəyyənliyi haqqında bilik əldə etmək üçün  $f$  silsilə

ölçmə aparıla bilər. Bundan əlavə, ölçmələrin və ya ölçmə seriyalarının qeyri-müəyyənliyi ölçmə şərtlərindən çox asılı ola bilər.

Qeyri-müəyyənliyin belə qeyri-stasionar davranışı da fərdi qaydada nəzərdən keçirilməli və modelləşdirilməlidir. Məsələn, mövqe radar və ya ultrasəs sensorlarından ölçmələr hava şəraitindən asılı ola bilər [3]. Qeyri-müəyyənliyin belə stasionar olmayan davranışı ayrıca nəzərdən keçirilməli və individual olaraq modelləşdirilməlidir. Nəticə olaraq demək olar ki, ölçmə və ya məlumat eyni real vəziyyət haqqında, hətta təxminən eyni parametrlərin qiyməti fərdi qeyri-müəyyənlik dərəcələrindən asılı olaraq dəyişdirilə bilər.

Məsələn, radar və ya ultrasəs sensorlarından pozisiya ölçmələrinə hava şəraiti təsir edə bilər. Qeyri-müəyyənliyə təsir edən müxtəlif ölçmə şərtləri altında yerinə yetirilən pozisiya ölçmələri seriyası şəkil 1-də göstərilmişdir.



*Şəkil 1. Qeyri-müəyyənliyə təsir edən müxtəlif ölçmə şərtləri altında yerinə yetirilən pozisiya ölçmələri seriyası*

Dəqiq qeyri-müəyyənlik üçün intervalların sərhədlərinin aydınlaşdırılması həmişə mümkün olmaya bilər. Bu səbəbdən qeyri-səlis çoxluqlardan istifadə edərək intervalların müəyyənləşməsində qeyri-səlis modelləşdirməni təklif edilir. Nə qədər ki, qeyri-səlis təhlil üçün digər güclü məlumatlar mövcuddur, bu verilənlər üzərində qurulmuş məlumatlarla yanaşı, həm də ekspert əsaslı məlumatlara əsaslanan qeyri-səlis çoxluqlarla birgə modelləşdirməyə imkan verir [4].

Uyğun sistemlər üçün verilənlərin aqreqasiya üsullarını ətraflı nəzərdən keçirmək üçün ilk növbədə birbaşa "verilənlərin aqreqasiyası" anlayışını müəyyən etmək lazımdır. Verilənlərin aqreqasiya proseduru ilkin məlumat toplusunu həcmcə orijinaldan daha kiçik olan alt çoxluqlara bölmək üçün tanınmış metodlardan istifadə etməklə, məlumatlarda yeni bilik və nümunələri saxlamaq və aşkar etməkdən ibarətdir. Bu kontekstdə aqreqasiya informasiyanın "sıxılması" prosesinə bənzəyir. Ancaq başqa bir nöqteyi-nəzər də var ki, aqreqasiya təfərrüatlı məlumat toplusunun ən ümumi, detallı formaya gətirilməsi proseduru kimi qəbul edilir, baxılır. Bu aqreqatlar adlanan xüsusi dərəcələri, qiymətləri, mənsubiyyəti tapmaqla həyata keçirilir, buna görə də sözügedən prosedurun adı buradan götürülmüşdür [5]. Bu qiymətlər mövcud olan təbii və istifadədə bu və ya başqa formada bir növ çevrilmənin tətbiqinin nəticəsidir. Aqreqasiya edilmiş prosedurların parlaq nümunələri kimi maksimum, minimum, median qiymətlərin tapılması, məlumatlarda kənar göstəricilərin aradan qaldırılması və s. göstərilə bilər. Məlumatların aqreqasiyasının güclü tərəfləri arasında təsadüfi amillərin ona daha az təsir göstərməsi səbəbindən ümumiləşdirilmiş məlumatın tez-tez dəyişməyə çox davamlı olması faktıdır. Bundan əlavə, verilənlərdə prosesin ümumi tendensiyaları və qanunauyğunluqları daha aydın görünür. Bununla belə, məlumatların həddən artıq ümumiləşdirilməsi və təfərrüatlardan məqsədyönlü şəkildə yayınma tədqiq olunan proses haqqında bəzi vacib məlumatların itirilməsinin səbəbi ola bilər. Məlumatların aqreqasiyası proseduru həm də onların birləşdirilməsi və ayrı-ayrı elementlər üzrə vahid bilik sisteminin yaradılması prosesini əhatə edir. Məlumdur ki, müxtəlif sistemləri üçün verilənlərin

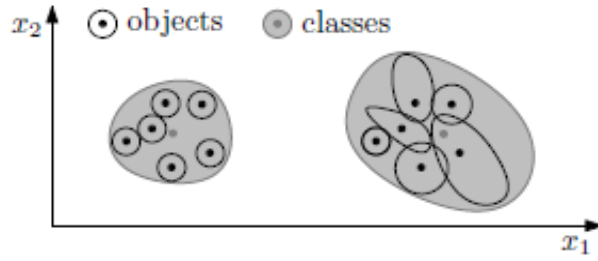
aqreqasiya üsulları kifayət qədər müxtəlifdir. Lakin onlar verilənlərdən əvvəl gəlir. Bu mərhələyə çox diqqət yetirilir, çünki o, əsasdır və baza olaraq hər hansı bir öyrənmə layihəsində qoyulmuş bütün proseslərə birbaşa təsir göstərir. Həm də mübahisəsiz fakt olaraq qəbul edilir ki, həyata keçirilən modelin proqnozlarının keyfiyyəti bu və ya digər maşın öyrənmə alqoritminin öyrədildiyi toplanmış, yığılmış məlumatların keyfiyyətindən əsaslı şəkildə asılıdır. Sonra proqnozlaşdırıcı modelləri öyrətmək üçün məlumat dəstlərinin formalaşması üsullarını nəzərdən keçiririk. İlk variant olaraq sərbəst giriş mövcud olan aqreqasiya olunmuş verilənlər dəsti qəbul edilir, çıxış edir. Bu, problemin ifadəsinin (məsələn, obyektin tanınması) mövcud iş təcrübəsinə əsaslandığı ideal bir seçimdir. İkinci üsul tədqiqatçı üçün maraqlı olan İnternet resursunun məzmununu əldə etmək imkanı verən xüsusi alətlər və "hörümçəklər" adlanan vasitələrdən istifadə edərək veb-resurslardan məlumatların təhlili və çıxarılmasıdır. Sonra şəxsi məlumatlar gəlir. Maşın öyrənmə mühəndisləri öz məlumatlarını yarada bilirlər. Bu, modeli öyrətmək üçün lazım olan məlumatların miqdarı kiçik olduqda və problem bəyanatı açıq mənbəli verilənlər toplusunu ümumiləşdirmək üçün çox spesifik olduqda faydalıdır.

Baxılanlardan birincisi paylanmış aqreqasiyadır. Histroqramlardan istifadə edərək məkan xüsusiyyətinin istifadəsinə əsaslanan bir məlumat aqreqasiya növüdür. Bu yanaşmanın üstünlüyü ondan ibarətdir ki, modelləşdirmə üçün məlumatların hazırlanmasının ilkin mərhələsində sonradan proqnozlara mənfi təsir göstərə bilən kənar göstəriciləri, təsirləri aradan qaldırmaqla lazımsız məlumatlardan xilas olmaq, faydalı olan və ilkin təhlil aparmağa imkan verən məlumatlardan yararlanmaqla verilənlərin birbaşa sıxılması və modelin öyrənilməsinə, sərf olunan zamanın az olmasına gətirib çıxarır. Paylanmış aqreqasiya üsulu ilə yanaşı müvəqqəti aqreqasiya metodu istifadə olunur, tədqiq olunan dəyişənin tezliyinin dəyişməsinin müşahidə olunması ilə əlaqədardır. Məlumat itkisi baş verərsə, alternativ kimi orta qiymət və ya interval analizindən istifadə edilir. Nə qədər ki, qeyri-səlis təhlil üçün digər güclü məlumatlar mövcuddur, bu verilənlər üzərində qurulmuş məlumatlarla yanaşı, həm də ekspert əsaslı məlumatlara əsaslanan qeyri-səlis çoxluqlarla birgə modelləşdirməyə imkan verir. Bu yanaşmanın üstünlüyü ondan ibarətdir ki, modelləşdirmə üçün məlumatların hazırlanmasının ilkin mərhələsində sonradan proqnozlara mənfi təsir göstərə bilən kənar göstəriciləri, təsirləri aradan qaldırmaqla lazımsız məlumatlardan xilas olmaq, faydalı olan və ilkin təhlil aparmağa imkan verən məlumatlardan yararlanmaqla verilənlərin birbaşa sıxılması və modelin öyrənilməsinə, sərf olunan zamanın az olmasına gətirib çıxarır.

Potensial funksiyasının ümumiləşdirilməsi kimi təqdim edilən asimmetrik qeyri-səlis çoxluğu  $\mu: R(0, a]$  müəyyən edir.

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{a}{1 + \left(\frac{1}{b_l} - 1\right) \left(\frac{r-x}{c_l}\right)^{d_l}}, & x < r \\ \frac{a}{1 + \left(\frac{1}{b_r} - 1\right) \left(\frac{x-r}{c_r}\right)^{d_r}}, & x \geq r \end{cases} \quad (1)$$

Eyni növlü və müxtəlif növlü qeyri-müəyyənliyə malik obyektlərin (qara) qeyri-müəyyən siniflərdə aqreqasiyası şəkil 2-də göstərilmişdir.



**Şəkil 2.** Eyni növlü və müxtəlif növlü qeyri-müəyyənliyə malik obyektlərin (qara) qeyri-müəyyən siniflərdə (boz) aqreqasiyası

Kompensator xarakteri, T-norm operatorları tərəfindən yerinə yetirilməyən  $x = rc_{l/r}$ , üçün istənilən sərhəd mənsubiyyətini saxlayarkən doğruluq dəyərlərinin interaktivliyinə zəmanət verir. Kompensator operatoru aqreqasiya operatorunun bütün xüsusiyyətlərini təmin edir.

$$\bigcap_{Ham}^N \mu_i = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{\mu_i} \right)^{-1} \quad (2)$$

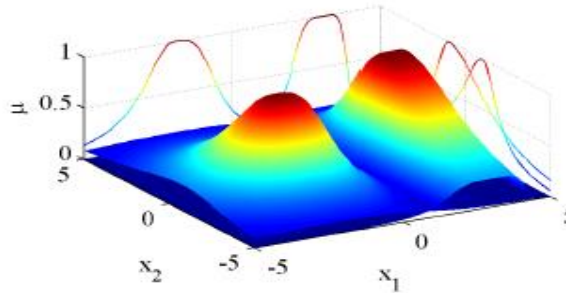
(2)-dəki kəsişmə, konyunktiv birləşmədə çox dəyişənlərdən istifadə edən qayda-əsaslı qeyri-səlis sistemlərdə çıxışın qiymətləndirilməsi ilə analogi şəklidə şərh edilə bilər:

$$\mu(x) = \mu_1(x_1) \cap \dots \cap \mu_N(x_N) \quad (3)$$

Bu yanaşmanın faydası olaraq, onun birdəyişənli əsas funksiyası ilə eyni şərh edilə bilən strukturu nümayiş etdirən parametrik çoxdəyişənli qeyri-səlis çoxluğu əldə edirik.

$$\mu(x) = \frac{a}{1 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{1}{b_i} - 1 \right) \left| \frac{x_i - r_i}{c_i} \right|^{d_i}} \quad (4)$$

İkiölçülü işarələr sahəsində asimmetrik qeyri-səlis çoxluqların iki nümunəsi və onların hər bir ölçü üçün birdəyişənli əsas funksiyaları şəkil 3 -də təsvir edilmişdir.



**Şəkil 3.** İki ölçülü çoxluqların iki nümunəsi

**Nəticə.** Verilənlər çoxluğunun qeyri-müəyyənliyi həmişə dəqiq bilinmədiyinə görə qeyri-səlis çoxluqlar qeyri-müəyyən verilənlərin modelləşdirilməsi üçün mümkün yanaşmalardan birini təmin edir, xüsusən də həm verilənlərə, həm də ekspertə əsaslanan məlumatlarla işləyərkən. Müxtəlif səbəblərə görə qeyri-müəyyənlik hər bir məlumat üçün fərqli ola bilər. Bunu məqalədəki faktiki nümunədə də müşahidə etmək olar. Heterojen qeyri-müəyyənliyi olan verilənlər üçün məqalədə həm verilənləri, həm də ümumiləşdirilmiş məlumatları ardıcıl şəkildə təsvir etmək üçün çoxdəyişənli parametrik qeyri-səlis çoxluqlara əsaslanan modelləşdirmə yanaşması təqdim edilmişdir. Bu yanaşmanın bir prinsipi ondan ibarətdir ki, tək ölçü və ya ekspert rəyi artıq müəyyən

bir fenomen üçün təmsilçi ola bilər. Buna görə də eyni modelləşdirmə vasitələri həm verilənlər, həm də ümumiləşdirilmiş məlumatlar üçün istifadə edilməlidir.

### **ƏDƏBİYYAT**

1. Aliev R.A.(2017). Uncertain computation-based decision theory / World Scientific, –p.447-452.
2. Fərzanə, N.H. Texnoloji ölçmələr və cihazlar. Dərs vəsaiti / N.H.Fərzanə, Q.X.Əliyev, S.M.Abbasova. –Bakı: ADNA, –2005. –66 s.
3. Pauer, G.; Török, Á. Binary integer modeling of the traffic flow optimization problem, in the case of an autonomous transportation system. Oper. Res. Lett. 2021, 49, 136–1
4. Kaufmann, A., Gupta, M.M. Introduction to fuzzy arithmetic, Van Nostrand Reinhold Electrical / Computer Science and Engineering Series, –NY, –1985.
5. Dulebenets M.A. A comprehensive multi-objective optimization model for the vessel scheduling problem in liner shipping / Int. J. Prod. Econ. –2018, –196, 293–3

### **РЕЗЮМЕ**

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ И АГРЕГИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НЕЧЕТКИХ ДАННЫХ**

*Худавердиева М. А.*

**Ключевые слова:** нечеткая классификация, нечеткое моделирование, датчик, гистограмма, агрегация.

В статье предлагается индивидуальное нечеткое моделирование и обработка данных с учетом их конкретной неопределенности. Применяется подход к моделированию на основе параметрических нечетких множеств, с помощью которых можно моделировать как данные с отдельными неопределенностями, так и абстрактные явления в области символов. Представлена процедура агрегирования, учитывающая индивидуальные особенности всех объектов обучения и приводящая к нечеткому представлению одной и той же интерпретируемой структуры. Приведены примеры как с синтетическими, так и с реальными данными.

### **SUMMARY**

#### **MODELING AND AGGREGATION OF DIFFERENT TYPES OF FUZZY DATA**

*Khudaverdiyeva M. A.*

**Keywords:** fuzzy classification, Fuzzy modeling, sensor, histogram, aggregation.

The paper proposes individual Fuzzy modeling and processing of data allowing for the specific uncertainty of each data. A modeling approach based on parametric Fuzzy sets is applied, which can be used to model both data with individual uncertainties and abstract phenomena in the domain of symbols. An aggregation procedure is presented that takes into account the individual characteristics of all learning objects and results in a Fuzzy representation of the same, interpretable structure. Examples are given using both synthetic and real data.

|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| Daxilolma tarixi: | İlkin variant | 27.02.2023 |
|                   | Son variant   | 03.03.2023 |

## MÜNDƏRİCAT \* СОДЕРЖАНИЕ \* CONTENTS

**Fizika. Riyaziyyat**

1. *Фейзиев Ф.Г., Абаева Н.Б.* Ортогонализация входных последовательностей двоичной 4d - нелинейной модулярной динамической системы в клеточной области 4
2. *Мусаева М.А.* Вариационный метод решения обратной задачи тепловой диагностики многосвязных конструкций 12
3. *Оруджев С.К., Исмаилов Р.М., Исмаилова Х.И.* Исследование работы выхода электрона в полупроводниковых твердых растворах  $p\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$  и  $n\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$  методом Андерсона 18

**Kimya**

4. *İsmayilov İ.T., Əsədova S.B., Musayeva N.M., İsmayilov T.A., Aslanova S.İ.* Günəbxan, qarğıdalı, pambıq və palma yağları əsasında sintez olunmuş etanolamidlərin hidrogen sulfid korroziyasına qarşı inhibitorluq xassələrinin tədqiqi 24
5. *Tapdıqov Ş.Z., Mustafayev M.M., Əhmədova İ.M.* Poli-ε-kaprolkton əsaslı daşıyıcıya immobilizə olunmuş doksorubisinin mühitə ayrılmasının kinetik modellərdə tədqiqi 30
6. *Əliyev Ö.M., Əliyev İ.İ., Rəhimova V.M., Allazova N.M.* Sintetik tetraedritin  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  sintezi və bəzi xassələri 37
7. *Пургулиева М.С.* Использование амидов имидсодержащих дикислот канифоли в составе бутадиен-стирольного каучука 43
8. *Мəmmədov Ş.H.*  $\text{AgGaS}_2\text{-Pb}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$  kəsiyinin tədqiqi və dəyişən tərkibli fazaların bəzi fiziki-kimyəvi xassələri 48
9. *Musaly V.Kh.* Synthesis of metal salts of synthetic petroleum acids and study as road bitumen additives 53

**Biologiya**

10. *Sadıqova D.O.* *Robinia pseudoacacia* L.-nin Abşeron şəraitində meyvə məhsuldarlığı, toxumların cücərmə xüsusiyyətləri 60

**Coğrafiya**

11. *Aghayev T.D., Abdulov K.Sh.* Urban air pollution from vehicle operation 64

**Texnika**

12. *Hüseynov A.H., Manafova X.İ.* Layihələndirilən mürəkkəb sistemlərin texniki vəziyyətinin qeyri-səlis modellər əsasında idarəsi 69
13. *Cabbarova K.İ.* Çoxmeyarlı qərar qəbul etmə üsulunun tətbiqi vasitəsilə ən yaxşı avtomobil seçiminin həlli 74
14. *Qəhrəmanov V.F.* Filiz girdələrinin (okatişın) istehsalında şixtənin tərkibinin okatişın strukturuna və faza tərkibinə təsirinin tədqiqi 78
15. *Zeynalova N.F., Nuriyeva N.C., Rəcəbov K.D., Hacıyev N.İ.* Reaktiv gücün müasir üsullarla kompensasiyası 82
16. *Abdulova N.A., Camaləddinova Ü.H.* Sinxron maşının riyazi modelinin tərtibi və Matlab mühitində modelləşdirilməsi 89
17. *Xudaverdiyeva M.Ə.* Müxtəlif növlü qeyri-səlis verilənlərin modelləşdirilməsi və aqreqasiyası 93

---

|                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| Kompüter yığımı  | <i>S.Şahverdiyeva</i>    |
| Texniki redaktor | <i>E.Həsətova</i>        |
| Dil dəstəyi      | <i>Linqvistik Mərkəz</i> |

Çapa imzalanmışdır: 30.03.2023-cü il  
Mətbəə kağızı, kağızın formatı: 70\*108 <sup>1</sup>/<sub>4</sub>  
Yüksək çap üsulu. Həcmi: 23,18 ş.ç.v.  
Sifariş 48. Tiraj 250 nüsxə.  
Qiyməti müqavilə yolu ilə.

---

Sumqayıt Dövlət Universiteti  
Redaksiya və nəşr işləri şöbəsi

**Müxbir ünvan:**

Azərbaycan, 5008, Sumqayıt, 43-cü məhəllə  
Tel: (0-12) 448-12-74  
(0-18) 644-70-41  
Faks: (0-18) 642-02-70

**Web:** <https://www.ssu-scientificnews.edu.az>

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