



"IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION"

international scientific-practical journal

ALMATY, KAZAKHSTAN

ISSN: 3007-8946

15 APRIL 2026



els.education23@mail.ru



irc-els.com

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION»**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL
«IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION»**



Main editor: G. Shulenbaev

Editorial colleague:

B. Kuspanova
Sh Abyhanova

International editorial board:

R. Stepanov (Russia)
T. Khushruz (Uzbekistan)
A. Azizbek (Uzbekistan)
F. Doflat (Azerbaijan)

International scientific journal «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION», includes reports of scientists, students, undergraduates and school teachers from different countries (Kazakhstan, Tajikistan, Azerbaijan, Russia, Uzbekistan, China, Turkey, Belarus, Kyrgyzstan, Moldova, Turkmenistan, Georgia, Bulgaria, Mongolia). The materials in the collection will be of interest to the scientific community for further integration of science and education.

Международный научный журнал «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION», включают доклады учёных, студентов, магистрантов и учителей школ из разных стран (Казахстан, Таджикистан, Азербайджан, Россия, Узбекистан, Китай, Турция, Беларусь, Кыргызстан, Молдавия, Туркменистан, Грузия, Болгария, Монголия). Материалы сборника будут интересны научной общественности для дальнейшей интеграции науки и образования.

15 апреля 2026 г.
Almaty, Kazakhstan

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19786778>

KASR TARTIBLI DIFFERENSIAL TENGLAMALARNI CHEKLI ELEMENTLAR USULI ASOSIDA SONLI YECHISH

MAMATOV TO‘LQIN YUSUPOVICH

fiz.-mat.f.f.d. (PhD), dotsent, Buxoro davlat texnika universiteti, Buxoro, O‘zbekiston

***Annotatsiya.** Maqolada kasr tartibli differensial operatorlari bilan tenglamalarning sonli yechimini topish uchun Bubnov-Galerkin va Rits usulidan foydalanishni nazariy asoslash natijalari keltirilgan. Sonli yechimning strukturasi ko‘rsatilgan va kasr tartibli differensial operatori tomonidan yaratilgan energiya fazosining metrikasiga ko‘ra taxminiy yechimning xatosi bahosi olinadi. Kasr tartibli differensial tenglamaning alohida holati uchun usulning hisoblash sxemasi tuziladi, taqribiy yechimlar olinadi va taqribiy yechimning dastlabki masalaning aniq yechimiga yaqinlashish tahlili beriladi.*

***Kalit so‘zlar:** kasrli differentsiallashtirish, tenglama, usul, yechim, Bubnov-Galerkin usuli, Rits usuli.*

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДРОБНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

***Аннотация.** В работе представлены результаты теоретического обоснования применения метода Бубнова-Галеркина и Рунца для нахождения численного решения уравнений с операторами дробного дифференцирования. Задана структура численного решения и получена оценка погрешности приближенного решения по метрике энергетического пространства, порожденного оператором дробного дифференцирования. Для частного случая дробно-дифференциального уравнения построена вычислительная схема метода, получены приближенные решения и дан анализ сходимости приближенного решения к точному решению исходной задачи.*

***Ключевые слова:** дробного дифференцирования, уравнение, метод, решение, метод Бубнова-Галеркина, метод Рунца.*

NUMERICAL SOLUTION OF FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS USING THE FINITE ELEMENT METHOD

***Abstract.** The paper presents the results of theoretical justification of the application of the Bubnov-Galerkin and Ritz method for finding numerical solutions of equations with fractional differentiation operators. The structure of the numerical solution is specified and the estimation of the error of the approximate solution by the metric of the energy space generated by the fractional differentiation operator is obtained. For a special case of fractional differential equation the computational scheme of the method is constructed, approximate solutions are obtained and the convergence of the approximate solution to the exact solution of the original problem is analysed.*

***Keywords:** fractional differentiation, equation, method, solution, Bubnov-Galerkin method, Ritz method.*

Kirish. So‘nggi yillarda kasr tartibli hisoblash sohasi bo‘yicha ilmiy qiziqish sezilarli darajada ortib bormoqda. Kasr tartibli differensial tenglamalar ham tadqiqotchilar e‘tiborini tobora ko‘proq jalb etmoqda. Ushbu ishning dolzarbligi shundan iboratki, kasr tartibli differensial tenglamalar fan va texnikaning turli sohalarida keng qo‘llanilmoqda.

Suyuqliklar mexanikasi, qovushqoq elastiklik, kimyo, fizika, moliya va boshqa fanlarda kuzatiladigan ko‘plab jarayonlar kasr tartibli hisoblash nazariyasining matematik apparati yordamida qurilgan modellar orqali tavsiflanishi mumkin. Bunday masalalar, odatda, aniq yechimga ega

bo'lmaydi. Shu sababli, ushbu tenglamalar uchun taqribiy yechim usullarini ishlab chiqish va ularni qo'llash, shuningdek, bu usullarning nazariy asoslarini yaratish masalalari dolzarb hisoblanadi.

Ta'kidlash joizki, so'nggi yillarda ilmiy adabiyotlarda ayrim sinfdagi tenglamalar uchun sonli usullar taklif etilgan tadqiqotlar paydo bo'lmoqda. Biroq, bu yo'nalishda erishilgan natijalarga qaramay, shunga o'xshash masalalarning yanada umumiy sinflari uchun taqribiy usullarni qo'llashning nazariy asoslarini ishlab chiqish masalasi hanuz ochiq qolmoqda.

Tadqiqot metodikasi. Ushbu ishning maqsadi kasr tartibli differensial tenglamani sonli yechish uchun hisoblash sxemasini ishlab chiqishdan iborat. Ishda kasr tartibli differensial tenglamalarning taqribiy yechimini topish uchun umumlashtirilgan Bubnov–Galerkin va Rits usullari taklif etiladi.

Quyidagi tenglamani ko'rib chiqamiz:

$$D^{(\alpha)}u + Tu = f, \quad u, f \in L_2[0, 2\pi], \quad (1)$$

bu yerda $D^{(\alpha)} = \frac{1}{2 \cos\left(\frac{\pi}{2}\alpha\right)} (D_+^{(\alpha)} + D_-^{(\alpha)})$ operatori $D_{\pm}^{(\alpha)}$ kasr tartibli differensiallash

operatorlari orqali aniqlanadi. $[a, b]$ kesmada berilgan $\varphi(x)$ funksiyalar uchun kasr tartibli hosilalar quyidagi formulalar orqali aniqlanadi:

$$(D_{a+}^{(\alpha)}\varphi)(x) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{d}{dx} \int_a^x \frac{\varphi(t)dt}{(x-t)^\alpha}, \quad -\infty < x < \infty, \quad (2)$$

$$(D_{b-}^{(\alpha)}\varphi)(x) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{d}{dx} \int_x^b \frac{\varphi(t)dt}{(x-t)^\alpha}, \quad -\infty < x < \infty,$$

bu yerda $0 < \alpha < 1$. (2) formulada aniqlangan hosilalar mos ravishda α -tartibli chap tomonli va o'ng tomonli Rimann–Liuvill hosilalari deb ham yuritiladi. Bu yerda u - noma'lum f funksiya $L_2[0, 2\pi]$ fazosiga tegishli berilgan funksiya. T - shunday operator bo'lib, $(D^{(\alpha)} + T)$ chiziqli operatorni hosil qiladi va umumiy holda cheklanmagan hamda musbat aniqlangan bo'lmagan operator hisoblanadi.

Yetarlicha silliq funksiyalar uchun $D^{(\alpha)}$ operatori kasr tartibli differensiallashning Veyl operatori bilan mos keladi va quyidagi qoida bo'yicha ta'sir etadi:

$$D^{(\alpha)}u \sim \sum_{k=-\infty}^{\infty} |k|^\alpha u_k e^{ikx}. \quad (3)$$

Bu yerda u_k - u funksiyaning Furiye koeffitsiyentlari hisoblanadi.

Endi (2) formulada berilgan kasr tartibli hosila tartibi $\alpha \geq 1$ bo'lgan holni ko'rib chiqamiz. Bu holda uning ifodasi quyidagicha aniqlanadi.

α soni - hosilaning kasr tartibi bo'lib, uni butun va kasr qismlar yig'indisi ko'rinishida ifodalash mumkin:

$$\alpha = [\alpha] + \{\alpha\},$$

bu yerda mos ravishda n - butun qism, β - kasr qism.

Agar α butun son bo'lsa, unda kasr tartibli hosila sifatida oddiy differensiallash tushuniladi:

$$D_{a+}^{\alpha} = \left(\frac{d}{dx}\right)^{\alpha}, \quad D_{b-}^{\alpha} = \left(-\frac{d}{dx}\right)^{\alpha}, \quad \alpha = 1, 2, 3, \dots$$

Agar α butun son bo'lsa, unda quyidagi hosilalarni kiritish maqsadga muvofiq:

$$D_{a+}^{\alpha} f \stackrel{\text{def}}{=} \left(\frac{d}{dx}\right)^{[\alpha]} D_{+}^{\{\alpha\}} f = \left(-\frac{d}{dx}\right)^{[\alpha]+1} I_{a+}^{1-\{\alpha\}} f,$$

$$D_{b-}^{\alpha} f \stackrel{\text{def}}{=} \left(-\frac{d}{dx}\right)^{[\alpha]} D_{-}^{\{\alpha\}} f = \left(-\frac{d}{dx}\right)^{[\alpha]+1} I_{b-}^{1-\{\alpha\}} f,$$

bu yerda $I_{a+}^{1-\{\alpha\}} f$ va $I_{b-}^{1-\{\alpha\}} f$ - tartibi $1 - \{\alpha\}$ ga teng bo'lgan kasr tartibli integrallar hisoblanadi. Shunday qilib, yuqori tartibli kasr hosilalar quyidagicha aniqlanadi:

$$D_{a+}^{\alpha} f = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \left(\frac{d}{dx}\right)^n \int_a^x \frac{f(t) dt}{(x-t)^{\alpha-n+1}}, \quad n = [\alpha] + 1,$$

$$D_{b-}^{\alpha} f = \frac{(-1)^n}{\Gamma(n-\alpha)} \left(\frac{d}{dx}\right)^n \int_x^b \frac{f(t) dt}{(x-t)^{\alpha-n+1}}, \quad n = [\alpha] + 1.$$

Mazkur operator uchun quyidagi lemmalar o'rinlidir.

Lemma 1.1. $D^{(\alpha)}$ - musbat aniqlangan operator.

Isbot. Ma'lumki, agar quyidagi shart bajarilsa, $D^{(\alpha)}$ operator musbat aniqlangan bo'ladi: $(D^{(\alpha)}u, u) > 0$. Bundan tashqari, e^{ikx} funksiyalar tizimi $L_2[0, 2\pi]$ fazoda to'liq bo'lganligi sababli quyidagi tenglik o'rinli bo'ladi:

$$(D^{(\alpha)}u, u) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (D^{(\alpha)}u, e^{ikx})(u, e^{ikx}) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} |k|^{\alpha} u_k^2 > 0.$$

Shu bilan lemma isbotlandi.

Lemma 1.2. $D^{(\alpha)}$ - simmetrik operator.

Isbot. $\forall u, v \in L_2[0, 2\pi]$ uchun $D_{+}^{\alpha}u$ va v funksiyalar uchun skalyar ko'paytmani qaraymiz:

$$\begin{aligned} (D_{+}^{\alpha}u, v) &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(x-t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} (ik)^{\alpha} e^{ikx} dt v(x) dx = \\ &= -\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{2\pi} \int_x^{x-2\pi} u(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} (ik)^{\alpha} e^{ik(x-t)} dt v(x) dx = \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v(x) \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-ik)^{\alpha} e^{ikx} dx u(t) dt = (u, D_{-}^{\alpha}v). \end{aligned}$$

Xuddi shuningdek, D_{-}^{α} uchun quyidagini olamiz: $(D_{-}^{\alpha}u, v) = (u, D_{+}^{\alpha}v)$.

Bundan kelib chiqadiki, D_{+}^{α} va D_{-}^{α} operatorlari orqali ifodalangan $D^{(\alpha)}$ operator skalyar ko'paytmaning xossalriga asosan simmetrik operator hisoblanadi. Buni hisobga olib, skalyar ko'paytma va normani mos ravishda quyidagicha kiritamiz:

$$[u, v] = (D^{(\alpha)}u, v), \quad [u] = (D^{(\alpha)}u, u)^{\frac{1}{2}}.$$

Aniq ko'rinishda skalyar ko'paytma quyidagicha ifodalanadi:

$$[u, v] = (D^{(\alpha)}u, v) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} u_k |k|^\alpha e^{ikx} v(x) dx = \sum_{k=-\infty}^{\infty} |k|^\alpha u_k v_k.$$

Kiritilgan norma bo'yicha $D(D^{(\alpha)})$ ni to'ldirib, energetik fazoni hosil qilamiz va uni H_D orqali belgilaymiz.

Boshlang'ich (1) tenglamani ixtiyoriy $v \in D(D^{(\alpha)})$ funksiyaga ko'paytirib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$[u, v] + (Tu, v) = (f, v).$$

(4)

(4) tenglama masalaning umumlashtirilgan qo'yilishini ifodalaydi. (1) tenglamaning umumlashtirilgan yechimi deb, ixtiyoriy $v \in H_D$ funksiya uchun (4) tenglamani qanoatlantiruvchi funksiyaga aytiladi.

Bubnov–Galerkin usuliga ko'ra, H_D energetik fazoda $\varphi_j, j = \overline{1, N}$ bazis funksiyalar tizimi tanlanadi. Taqribiy yechim tanlangan bazis funksiyalar bo'yicha ko'phad ko'rinishida izlanadi:

$$u_N = \sum_{j=1}^N a_j \varphi_j.$$

(5)

Noma'lum koeffitsiyentlar a_j quyidagi tenglamalar sistemasidan aniqlanadi:

$$[u_N, \varphi_k] + (Tu_N, \varphi_k) = (f, \varphi_k), \quad k = \overline{1, N}.$$

(6)

(5) ifodani va kiritilgan hamda oddiy skalyar ko'paytmalarning chiziqchilikini hisobga olib, quyidagi chiziqchi algebraik tenglamalar sistemasini hosil qilamiz:

$$\sum_{j=1}^N a_j [\varphi_j, \varphi_k] + \sum_{j=1}^N a_j (T\varphi_j, \varphi_k) = (f, \varphi_k), \quad k = \overline{1, N}. \quad (7)$$

Teorema 2.1. Faraz qilaylik:

- (1) tenglama berilgan o'ng qism uchun yagona yechimga ega bo'lsin.
- $L(u, v) = [u, v] + (Tu, v)$ forma H_D fazoda aniqlangan va H_D da chegaralangan bo'lsin, ya'ni quyidagi shartlar bajarilsin:

$$L(u, u) \geq \gamma_0^2 [u]^2, \quad L(u, v) \leq \gamma_1^2 [u][v], \quad \gamma_0, \gamma_1 \equiv \text{const}.$$

- $\varphi_j, j = \overline{1, N}$ funksiyalarining chiziqchi qobig'idan tashkil topgan H_N qism fazolar ketma-ketligi H_D fazoda limitda zich bo'lsin.

U holda, har qanday chekli N uchun (6) sistema yagona yechimga ega bo'ladi va yaqinlashgan u_N yechim $N \rightarrow \infty$ da $[\cdot]$ metrika bo'yicha aniq u yechimga yaqinlashadi hamda xatolik uchun quyidagi baho o'rinli bo'ladi:

$$[u - u_N] \leq c\varepsilon(u, N),$$

bu yerda $\varepsilon(u, N)$ - N ga bog'liq berilgan funksiya (yaqinlashish xatoligining bahosi) bo'lib, quyidagi tengsizlikni qanoatlantiradi:

$$\min_{c_j} \left\| D^{(\alpha)} \left(u - \sum_{j=1}^N c_j \varphi_j \right) \right\| \leq \varepsilon(u, N) \rightarrow 0.$$

Quyidagi masalani ko'rib chiqamiz:

$$D^{(\alpha)}u + qu = f(x), \quad x \in (0,1), \quad u(0) = u(1) = 0.$$

(8)

Natijalar va ularning muhokamasi. (8) masalaning yaqinlashgan yechimini *Rits usuli* yordamida izlaymiz. Bu usulga ko‘ra, bazis funksiyalar sifatida aniqlanish sohasi $D(A)$ bo‘lgan $A = D^{(\alpha)} + q$ operatorining xos funksiyalarini tanlaymiz. Bu yerda $D(A)$ quyidagi shartlarni qanoatlantiruvchi funksiyalar to‘plamidan iborat:

- $u(x)$ funksiyalar $[0,1][0,1][0,1]$ oraliqda uzluksiz;
- ikkinchi tartibli hosilagacha ega;
- chegaraviy shartlarni qanoatlantiradi: $u(0)=0, u(1)=0$.

Ta’kidlash joizki, A operatorining xos qiymati λ_i va unga mos xos funksiya φ quyidagi ko‘rinishga ega: $\lambda_i = i^2\pi^2 + q$, $\varphi_i = \sin i\pi x$, $i = 1, 2, \dots$. Shunda (8) masalaning yaqinlashgan yechimini quyidagi ko‘rinishda izlaymiz:

$$u_N(x) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \sin i\pi x,$$

(9)

bu yerda (9) yoyilmaning noma’lum koeffitsiyentlari quyidagi ko‘rinishda aniqlanadi:

$$\alpha_i = \frac{2}{i^2\pi^2 + q} \int_0^1 f(x) \sin i\pi x dx.$$

Taklif etilgan hisoblash sxemasining sonli realizatsiyasini (1) masala uchun ayrim misollarda ko‘rib chiqamiz.

(1) masala uchun $\alpha=2.5$, $q=1$ qiymatlarni olamiz. U holda tenglama quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$D^{(2.5)}u + u = f(x), \quad x \in (0,1), \quad u(0) = u(1) = 0, \quad (10)$$

bu yerda (10) tenglamaning o‘ng tomoni

$$f(x) = (1 + b^{2.5}) \sin bx - (1 + (\pi - b)^{2.5}) \sin(\pi - b)x$$

funksiya ko‘rinishida aniq berilgan. Aniq yechim quyidagi ko‘rinishga ega ekanligini oson ko‘rsatish mumkin:

$$u(x) = \sin bx - \sin(\pi - b)x.$$

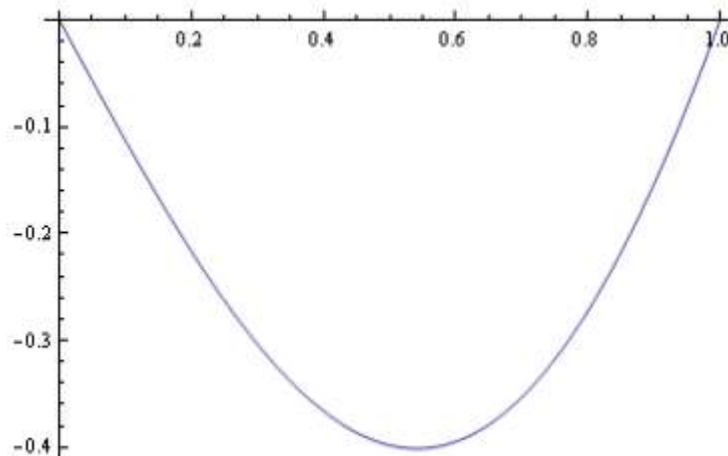
Haqiqatan ham, aniq yechimni (10) tenglamaga qo‘llab va $D^{(\alpha)}(\sin bx) = b^\alpha \sin bx$ tenglikdan foydalansak, quyidagi natijani olamiz:

$$\begin{aligned} b^{2.5} \sin bx - (\pi - b)^{2.5} \sin(\pi - b)x + \sin bx - \sin(\pi - b)x = \\ = (1 + b^{2.5}) \sin bx - (1 + (\pi - b)^{2.5}) \sin(\pi - b)x. \end{aligned}$$

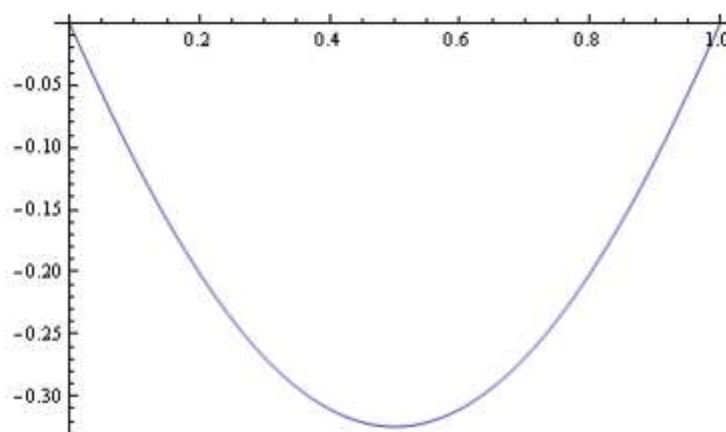
Usulni tasvirlash uchun (10) tenglamaning yaqinlashgan yechimini (9) trigonometrik ko‘phad ko‘rinishida izlaymiz. Bu yerda noma’lum koeffitsiyentlar quyidagi aniq integral yordamida aniqlanadi:

$$\alpha_i = \frac{2}{i^2\pi^2 + 1} \int_0^1 \left((1 + b^{2.5}) \sin bx - (1 + (\pi - b)^{2.5}) \sin(\pi - b)x \right) \sin i\pi x dx.$$

Formulaga $b=1$ ni qo‘yib, $N=10$ uchun yaqinlashgan yechimni hosil qilamiz. Ushbu yechimning grafigi 1-rasmda keltirilgan. Mos aniq yechim grafigi esa 2-rasmda berilgan [7].



1-rasm. Aniq yechim grafigi.



2-rasm. $u_{10}(x)$ yaqinlashgan yechim grafigi.

Ko‘rish mumkinki, yaqinlashgan va aniq yechimlar grafigi deyarli ustma-ust tushadi. Bundan tashqari, integrallash oralig‘idagi nuqtalarda funksiyaning aniq va yaqinlashgan qiymatlarini ham taqqoslash mumkin (1-jadval).

1-jadval

x_i	$u(x_i)$	$u_{10}(x_i)$
0	0	0
0.1	-0.112693	-0.109898
0.2	-0.216672	-0.201131
0.3	-0.303631	-0.269012
0.4	-0.366226	-0.310407
0.5	-0.398157	-0.324481
0.6	-0.394782	-0.310407
0.7	-0.353214	-0.269012
0.8	-0.272511	-0.201131
0.9	-0.153749	-0.109898
1.0	0	0

1-jadvalning ikkinchi va uchinchi ustunlarini taqqoslashdan ko‘rinadiki, qiymatlar orasidagi tafovut juda kichik. Yuqori aniqlikka erishish maqsadida, boshlang‘ich masalaning yaqinlashgan yechimini $N=15$ uchun ham hisoblaymiz.

Aniq va yaqinlashgan qiymatlar 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

x_i	$u(x_i)$	$u_{15}(x_i)$
0	0	0
0.1	-0.112693	-0.109811
0.2	-0.216672	-0.201220
0.3	-0.303631	-0.268961
0.4	-0.366226	-0.310456
0.5	-0.398157	-0.324419
0.6	-0.394782	-0.310456
0.7	-0.353214	-0.268961
0.8	-0.272511	-0.201220
0.9	-0.153749	-0.109811
1.0	0	0

N sonini yanada oshirish yaqinlashish aniqligining sezilarli oshishiga olib kelmadi, bu esa 3-jadval natijalaridan ko‘rinadi.

3-jadval

x_i	$u(x_i)$	$u_{20}(x_i)$
0	0	0
0.1	-0.112693	-0.109793
0.2	-0.216672	-0.201197
0.3	-0.303631	-0.268947
0.4	-0.366226	-0.310455
0.5	-0.398157	-0.324425
0.6	-0.394782	-0.310455
0.7	-0.353214	-0.268947
0.8	-0.272511	-0.201197
0.9	-0.153749	-0.109793
1.0	0	0

$N=10$ va $N=15$ uchun olingan yaqinlashgan funksiyalar qiymatlarini taqqoslash natijasida $\varepsilon = 10^{-3}$ aniqlik bahosi olindi. Biroq, N ni yanada oshirish yaqinlashish aniqligining juda sekin ortishiga olib keladi.

Xulosa. Ushbu ishda kasr tartibli differensiallash operatorlari qatnashgan tenglamalarning sonli yechimini topishda Bubnov–Galerkin va Rits usullarini qo‘llashning nazariy asoslari keltirildi.

- Sonli yechimning tuzilishi aniqlandi;
- Kasr tartibli differensiallash operatori hosil qilgan energetik fazo metrikasi bo‘yicha yaqinlashgan yechim xatoligi baholandi;
- Kasr tartibli differensial tenglamaning xususiy holi uchun hisoblash sxemasi qurildi;
- Yaqinlashgan yechimlar olindi;
- Yaqinlashgan yechimning boshlang‘ich masalaning aniq yechimiga yaqinlashishi tahlil qilindi.

Natijalar taklif etilgan usullarning kasr tartibli differensial tenglamalarni yechishda samarali ekanligini ko‘rsatadi.

FOYDALANILAGAN ADABIYOTLAR

1. Barton T.A., Purnaras I.K. Lp-solutions of singular integro-differential equations // J. Math. Anal. Appl., 2012, № 386. – P. 830-841.
2. Ma X., Huang X. Ma, Huang C. Numerical solution of fractional integro-differential equations by a hybrid collocation method // Applied Mathematics and Computation, 2013. № 219. – P. 6750-6760.
3. Mamatov T and S.Samko, Mixed fractional integration operators in mixed weighted Hölder spaces. Fractional Calculus and Applied Analysis. vol. 13(3), 2010, p. 245-260
4. Mamatov T, Operators of Volterra convolution type in generalized Hölder spaces, Poincare Journal of Analysis and Applications, vol. 7(2), 2020, p. 275-288
5. Mamatov T and N.Mustafoev, Operators of Volterra convolution type in weighted generalized Hölder space, Poincare Journal of Analysis and Applications, vol. 10(1), 2023, p. 135-154
6. Mamatov T. Mixed Fractional Integration In Mixed Weighted Generalized Hölder Spaces// Case Studies Journal. Vol 7(6), (2018) , p.1-8.
7. Marinov T.M., Ramirez N., Santamaria F. Fractional Integration toolbox// Fractional Calculus and Applied Analysis, 2013. V.16, №3. – P. 670 – 681.
8. Zhu L., Fan Q. Numerical solution of nonlinear fractional-order Volterra integro-differential equations by SCW // Commun Nonlinear Sci Numer Simulat, 2013. № 18. –P. 1203-1213.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19786856>

ҚОЛДАНБАЛЫ ЫҚТИМАЛДЫҚ ЕСЕПТЕРІ АРҚЫЛЫ ОҚУШЫЛАРДЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

АЛУАДИНОВА МЕРУЕРТ МҰХТАРҚЫЗЫ

Ш.Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университеті
магистратура студенті
Ақтау, Қазақстан

Аңдатпа. Бұл мақалада оқушылардың функционалды сауаттылығын қалыптастырудағы қолданбалы ықтималдық есептерінің рөлі қарастырылады. Заманауи білім беру жүйесінде математиканы оқытудың басты мақсаты – оқушылардың алған білімдерін өмірлік жағдайларда тиімді қолдана алу қабілетін дамыту болып табылады. Осыған байланысты мақалада ықтималдықтар теориясының элементтерін қолдану арқылы оқушылардың логикалық ойлауын, талдау дағдыларын және математикалық модельдеу қабілеттерін жетілдіруге бағытталған инновациялық модель ұсынылады. Зерттеу барысында қолданбалы есептердің оқу процесіндегі маңыздылығы айқындалып, олардың функционалды сауаттылықты дамытуға ықпалы негізделді. Сонымен қатар, ұсынылған модельдің құрылымы мен оны білім беру тәжірибесіне енгізу жолдары сипатталады.

Кілт сөздер: функционалды сауаттылық, ықтималдықтар теориясы, қолданбалы есептер, математикалық модельдеу, инновациялық оқыту, білім беру, оқыту әдістемесі

Аннотация. В данной статье рассматривается роль прикладных задач по теории вероятностей в формировании функциональной грамотности учащихся. В современных условиях основной целью обучения математике является развитие способности применять полученные знания в реальных жизненных ситуациях. В этой связи предлагается инновационная модель, направленная на развитие логического мышления, аналитических навыков и умений математического моделирования посредством использования элементов теории вероятностей. В ходе исследования обоснована значимость прикладных задач в учебном процессе и их влияние на развитие функциональной грамотности. Также описана структура предложенной модели и пути ее внедрения в образовательную практику.

Ключевые слова: функциональная грамотность, теория вероятностей, прикладные задачи, математическое моделирование, инновационное обучение, образование, методика обучения

Abstract. This article examines the role of applied probability problems in developing students' functional literacy. In modern education, the primary goal of teaching mathematics is to enhance students' ability to apply their knowledge in real-life situations. In this context, an innovative model is proposed that focuses on developing logical thinking, analytical skills, and mathematical modeling abilities through the use of probability theory elements. The study highlights the importance of applied problems in the learning process and substantiates their impact on the development of functional literacy. In addition, the structure of the proposed model and ways of its implementation in educational practice are described.

Keywords: functional literacy, probability theory, applied problems, mathematical modeling, innovative learning, education, teaching methodology

Кіріспе

Қазіргі кезеңде білім беру жүйесі қоғамның әлеуметтік-экономикалық даму талаптарына сәйкес жанартылуда. Білім алушы тек білімді меңгеруші ғана емес, оны өмірде қолдана алатын тұлға болуы тиіс. Осы тұрғыда функционалды сауаттылық ұғымы ерекше мәнге ие [1].

Функционалдық сауаттылық – адамның алған білімін нақты өмірлік жағдаяттарда тиімді қолдана білу қабілеті. Халықаралық зерттеулер нәтижелері оқушылардың теориялық білімдерін практикада қолдану деңгейінің жеткіліксіз екенін көрсетеді [1]. Бұл жағдай математиканы оқыту әдістемесін жетілдіруді талап етеді.

Математика пәнінде қолданбалы бағытты күшейту – осы мәселені шешудің тиімді жолдарының бірі. Әсіресе ықтималдықтар теориясы оқушыларға өмірдегі кездейсоқ құбылыстарды түсінуге мүмкіндік береді [2].

Функционалдық сауаттылықтың теориялық негіздері

Функционалдық сауаттылық көпқырлы ұғым болып табылады және келесі компоненттерден тұрады:

- когнитивтік (білімді түсіну);
- операциялық (қолдану);
- рефлексивтік (талдау және бағалау).

Құзыреттілікке негізделген оқыту осы компоненттердің қалыптасуын қамтамасыз етеді [3].

Математика сабағында функционалдық сауаттылықты қалыптастыру үшін есептерді өмірлік жағдайлармен байланыстыру қажет. Бұл оқушылардың пәнге қызығушылығын арттырады және білімнің маңыздылығын түсіндіреді [4].

Ықтималдықтар теориясының дидактикалық мүмкіндіктері

Ықтималдықтар теориясы:

- белгісіздік жағдайында шешім қабылдауға;
- тәуекелді бағалауға;
- статистикалық ойлауды дамытуға мүмкіндік береді [5].

Қолданбалы есептер оқушыларды тек есеп шығаруға емес, мәселені талдауға және нәтижені түсіндіруге үйретеді.

Инновациялық модельдің сипаттамасы

Ұсынылған модель келесі құрылымнан тұрады:

1. Мақсаттық компонент

Функционалдық сауаттылықты дамыту.

2. Мазмұндық компонент

Ықтималдық, статистика, модельдеу.

3. Әдістемелік компонент

Проблемалық оқыту, зерттеу әдісі, жобалық жұмыс.

4. Технологиялық компонент

Цифрлық ресурстар, интерактивті тапсырмалар.

5. Нәтижелік компонент

Оқушылардың аналитикалық ойлауы мен қолдану қабілеті.

Қолданбалы есептер жүйесі

1-есеп (медицина). Науқас емделу кезінде бірдей мөлшерде екі түрлі дәрі қабылдауы керек болды. Науқастың бірінші дәрі-дәрмектен жеңілдеу ықтималдығы — 0,9; екіншісінен — 0,97. Науқас жазылып қалды. Оның жағдайының жақсаруына бірінші дәрі-дәрмектің себепші болғанының ықтималдығы қандай?



Тең мүмкіндікті болжамдарды қарастырайық:

A_1 – «науқас бірінші дәрі-дәрмекті қабылдады»,

A_2 – «науқас екінші дәрі-дәрмекті қабылдады». Онда B – «науқастың жағдайы жақсарды» оқиғасы делік.

Шартты ықтималдықтарды анықтаймыз: $P(B / A_1) = 0,9$, $P(B / A_2) = 0,97$. Орын алған оқиға белгілі болғандықтан, Байес формуласын пайдаланамыз. Науқастың жағдайына бірінші дәрі-дәрмектің әсер ету ықтималдығы келесі формула бойынша анықталады:

$$P(B / A_1) = \frac{0,9 \cdot 0,5}{0,9 \cdot 0,5 + 0,97 \cdot 0,5} = 0,48$$

2-есеп (әлеуметтік). Жанармай бекеті тұрған жолдан өтетін жүк және жеңіл машиналарының саны 3-тің 2-ге қатынасындай. Жеңіл машинаның жанармай құю ықтималдығы 0,2. Жүк машинасы үшін бұл ықтималдық 0,1-ге тең.

Жанармай бекетіне көлік келіп тоқтады. Оның жүк машинасы болу ықтималдығы қандай?



Шешуі: Оқиғаларды белгілейік: A – «көлік жанармай құйды»; H_1 – «жүк машина келіп тоқтады»; H_2 – «жеңіл машина келіп тоқтады»

$$P(H_1) = \frac{3}{5}, \quad P(H_2) = \frac{2}{5}$$

$$P(A / H_1) = P_{H_1}(H) = 0,1, \quad P(A / H_2) = P_{H_2}(H) = 0,2$$

$$P(H_1 / A) = P_A(H_1) = \frac{\frac{3}{5} \cdot 0,1}{\frac{3}{5} \cdot 0,1 + \frac{2}{5} \cdot 0,2} = \frac{0,06}{0,06 + 0,08} = \frac{3}{7}$$

Сыныптағы 30 оқушының 18-і спортпен айналысады.
Ықтималдық:
 $P = 18/30 = 0.6$

3-есеп (қаржылық). Ұтыс ойынында бір билеттің ұту ықтималдығы 0,2. 12 билет сатып алынған. Ойын билеттерінің ұтысының ең ықтималды санын және оған сәйкес ықтималдылықты табыңыз.



Шешуі: Барлығы $n=12$ билет сатып алынды, әрқайсысының ұтуының ықтималдығы $p=0,2$. Ал $q=0,8$ тең.

$np - q \leq m \leq np + p$ формуласы бойынша:

$$12 \cdot 0,2 - 0,8 \leq m \leq 12 \cdot 0,2 + 0,2; \quad 1,6 \leq m \leq 2,6; \quad m = 2$$

Ұтыс билеттерінің ең ықтималды саны 2-ге тең.

Бұл оқиғаның ықтималдығын Бернулли формуласын қолданып анықтаймыз:

$$P_{12}(2) = C_{12}^2 \cdot 0,2^2 \cdot 0,8^{10} = \frac{12!}{10! \cdot 2!} 0,2^2 \cdot 0,8^{10} = 0,283$$

4-есеп (спорт). Баскетбол ойынында ойыншының допты сақинаға бір лақтырғанда дәл түсіру ықтималдығы 0,6. Ол сақиналы себетке 10 рет допты лақтырды. Допты дәл лақтыруының ең ықтималды санын және оның ықтималдылығын табыңыз.



Шешуі: Баскетболшы $n=10$ рет допты себетке лақтырды. Әр көздегенде допты дәл соғу ықтималдығы $p = 0,6$. Ал $q=0,4$.

$np - q \leq m \leq np + p$ формуласы бойынша m – ді анықтаймыз:

$$10 \cdot 0,6 - 0,4 \leq m \leq 10 \cdot 0,6 + 0,6$$

$$5,6 \leq m \leq 6,6$$

$$m = 6$$

Допты дәл соғудың ең ықтималды саны 6.

Осы оқиғаның ықтималдығын Бернулли формуласын қолданып анықтаймыз:

$$P_{10}(6) = C_{10}^6 \cdot 0,6^6 \cdot 0,4^4 = \frac{10!}{4! \cdot 6!} 0,6^6 \cdot 0,4^4 = 0,251$$

Жеңіс – 0.6

2 жеңіс (3 ойын): биномиалдық үлестірім

Қорытынды

Қорытындылай келе, біріншіден, қолданбалы есептер оқушылардың **когнитивтік белсенділігін арттырады**. Дәстүрлі есептерден айырмашылығы, мұндай тапсырмалар нақты өмірлік жағдайларды қамтиды және оқушылардан тек математикалық амалдарды орындауды ғана емес, сонымен қатар жағдайды талдауды талап етеді.

Екіншіден, ықтималдық есептері оқушыларды **белгісіздік жағдайында шешім қабылдауға үйретеді**. Қазіргі қоғамда көптеген шешімдер дәл ақпаратқа емес, ықтималдыққа негізделеді. Сондықтан мұндай дағдылар оқушылардың болашақ өмірінде маңызды рөл атқарады.

Үшіншіден, зерттеу нәтижелері көрсеткендей, қолданбалы есептерді пайдалану оқушылардың **ішкі мотивациясын арттырады**. Оқушылар математиканың өмірмен байланысын көрген кезде, пәнге деген қызығушылығы айтарлықтай өседі. Бұл өз кезегінде оқу жетістіктерінің жоғарылауына әсер етеді.

Төртіншіден, ұсынылған модель оқушылардың **математикалық модельдеу дағдыларын** дамытуға мүмкіндік береді. Оқушылар нақты жағдайларды математикалық тілге

аударып, оны шешіп, нәтижесін қайта интерпретациялауды үйренеді. Бұл – функционалдық сауаттылықтың негізгі көрсеткіштерінің бірі

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. OECD. PISA 2018 Results. – Paris, 2019. 1
2. Колмогоров А.Н. Основы теории вероятностей. – М.: Наука, 2018.
3. Құдайбергенова Қ.С. Құзыреттілік тәсіл негіздері. – Алматы, 2019.
4. Беспалько В.П. Педагогика и технологии обучения. – М., 2019.
5. Поляков В.А. Прикладные задачи по теории вероятностей. – М., 2017.
6. Скаткин М.Н. Дидактика средней школы. – М., 2016.
7. Смирнов А.А. Математическое моделирование. – М., 2020.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19786897>
УДК 537.226

ОПТИМИЗАЦИЯ МОРФОЛОГИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ZNO И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ТУГАНБЕКОВА АЛУА САГЫНДИККЫЗЫ

Магистрант Физико-технического факультета,
НАО «Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова»

Научный руководитель – PhD, ассоциированный профессор кафедры физики и нанотехнологий **СЕЙСЕМБЕКОВА Т. Е.**
Караганда, Казахстан

Аннотация: В данной работе рассмотрено влияние морфологии тонких пленок оксида цинка (ZnO) на фотоэлектрические характеристики полимерных солнечных элементов. Особое внимание уделено таким параметрам, как шероховатость поверхности, размер зерен и однородность структуры. На основе анализа научных публикаций показано, что оптимизация морфологии ZnO способствует улучшению фотогенерации, увеличению коэффициента заполнения (FF) и общей эффективности устройства (PCE). Рассматриваются методы получения пленок, включая sol-gel технологию и термическую обработку. Установлено, что изменение морфологии оказывает существенное влияние на транспорт заряда и рекомбинационные процессы в структуре солнечного элемента.

Ключевые слова: ZnO, тонкие пленки, морфология, полимерные солнечные элементы, фотогенерация, эффективность

Введение

В последние годы полимерные солнечные элементы привлекают значительное внимание благодаря своей гибкости, низкой стоимости, легкости производства и возможности создания больших площадей фотоактивных устройств [1]. Такие преимущества делают их перспективными для применения в портативной электронике, гибких дисплеях и возобновляемой энергетике. Однако несмотря на значительный прогресс, эффективность преобразования энергии (PCE) полимерных солнечных элементов все еще остается ниже по сравнению с традиционными кремниевыми устройствами, что ограничивает их широкое коммерческое применение.

Одним из ключевых факторов, определяющих эффективность таких устройств, является структура и качество межслойных интерфейсов. В частности, электронно-транспортный слой (ETL) играет важную роль в обеспечении эффективного переноса электронов от активного слоя к катоду, одновременно подавляя рекомбинационные процессы и снижая потери заряда. Таким образом, свойства материала ETL напрямую влияют на такие параметры, как ток короткого замыкания (J_{sc}), напряжение холостого хода (V_{oc}) и коэффициент заполнения (FF).

Оксид цинка (ZnO) широко используется в качестве материала электронно-транспортного слоя благодаря высокой электронной подвижности, оптической прозрачности в видимом диапазоне и хорошей химической стабильности [2]. Кроме того, ZnO является недорогим и экологически безопасным материалом, что делает его особенно привлекательным для применения в органической и полимерной фотоэлектронике.

Однако эффективность солнечных элементов на основе ZnO во многом зависит не только от его химического состава, но и от морфологии тонких пленок. Ключевыми морфологическими параметрами являются шероховатость поверхности, размер зерен, пористость и однородность структуры. Эти характеристики влияют на площадь контакта

между слоями, транспорт зарядов и вероятность рекомбинации электрон-дырочных пар. В частности, более однородная и оптимизированная структура ZnO способствует улучшению интерфейса между электронно-активным слоем и электродом, что приводит к повышению общей эффективности устройства.

На рисунке 1 представлена типичная морфология тонкой пленки ZnO, полученная методом сканирующей электронной микроскопии (SEM), демонстрирующая зернистую структуру и особенности поверхности материала.

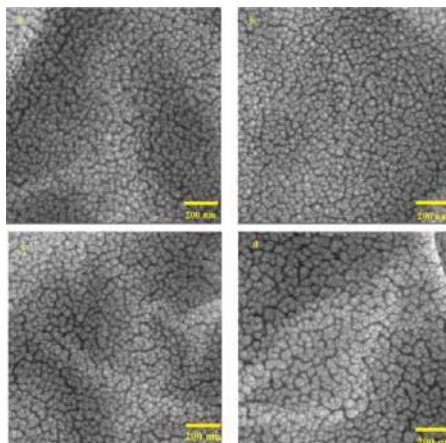


Рисунок 1 – SEM-изображение морфологии тонкой пленки ZnO [6].

Таким образом, изучение и оптимизация морфологии ZnO тонких пленок является актуальной задачей современной фотоэлектроники, направленной на повышение эффективности полимерных солнечных элементов и улучшение их эксплуатационных характеристик.

Теоретические основы и литературный обзор

Фотоэлектрические характеристики солнечных элементов определяются рядом ключевых параметров, включая эффективность преобразования энергии (PCE), коэффициент заполнения (FF), ток короткого замыкания (J_{sc}) и напряжение холостого хода (V_{oc}) [3]. Эти параметры являются основными критериями оценки качества и эффективности фотоэлектрических устройств, поскольку они напрямую связаны с процессами генерации, транспортировки и рекомбинации зарядов внутри структуры солнечного элемента.

Эффективность устройства рассчитывается по формуле:

$$PCE = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

где P_{out} — выходная мощность, P_{in} — мощность падающего света. Данный параметр отражает общую способность солнечного элемента преобразовывать солнечную энергию в электрическую.

Коэффициент заполнения определяется как:

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \cdot J_{sc}}$$

где P_{max} — максимальная выходная мощность, V_{oc} — напряжение холостого хода, J_{sc} — плотность тока короткого замыкания. Значение FF характеризует степень приближения реальной вольт-амперной характеристики к идеальной прямоугольной форме и является важным показателем качества внутренней структуры устройства.

Морфология ZnO пленок оказывает существенное влияние на процессы генерации и транспортировки носителей заряда. Согласно современным исследованиям, увеличение размера зерен и снижение плотности дефектов в структуре ZnO способствует уменьшению рекомбинационных потерь и повышению эффективности переноса электронов [4]. Кроме того,

однородная и упорядоченная морфология способствует улучшению контакта между электронно-транспортным слоем и активным полимерным слоем, что снижает энергетические барьеры на интерфейсе.

Фотогенерация носителей заряда может быть описана следующим выражением:

$$G = \frac{\alpha I}{h\nu}$$

где α — коэффициент поглощения, I — интенсивность света, $h\nu$ — энергия фотона.

Данное уравнение показывает, что скорость генерации носителей зависит как от оптических свойств материала, так и от энергии падающего излучения.

На рисунке 2 представлена типичная структура полимерного солнечного элемента с использованием ZnO в качестве электронно-транспортного слоя. ZnO выполняет функцию буферного слоя, который обеспечивает эффективный перенос электронов и блокирует дырки, тем самым повышая селективность переноса зарядов и снижая рекомбинационные потери.

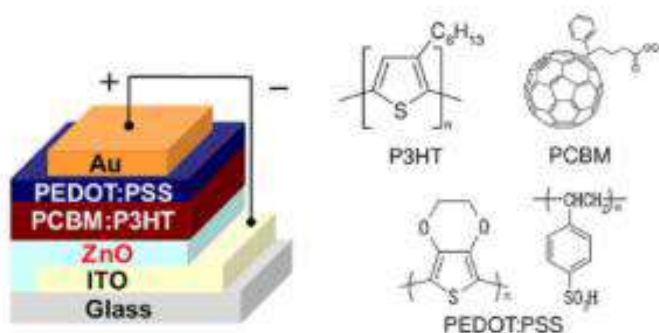


Рисунок 2 – Структура полимерного солнечного элемента с ZnO электронно-транспортным слоем [2].

Кроме того, следует отметить, что интерфейс между ZnO и активным слоем играет критическую роль в формировании фотоэлектрических характеристик устройства.

Наличие дефектов, неровностей поверхности и неоднородностей может приводить к локальным энергетическим ловушкам, что снижает эффективность устройства. Поэтому контроль морфологии ZnO является одним из ключевых направлений оптимизации органических и полимерных солнечных элементов.

Методы получения и оптимизации морфологии ZnO

Одним из наиболее распространенных и технологически доступных методов получения тонких пленок ZnO является sol-gel технология [5]. Данный метод широко применяется благодаря своей простоте, низкой стоимости оборудования и возможности тонкого контроля структурных и морфологических параметров материала. В процессе sol-gel синтеза происходит переход из жидкой фазы (золь) в гелеобразное состояние с последующим формированием твердой тонкой пленки на подложке.

Одним из ключевых преимуществ данного метода является возможность управления морфологией ZnO пленок путем изменения параметров технологического процесса. Это позволяет целенаправленно модифицировать размер зерен, плотность упаковки и однородность поверхности, что напрямую влияет на фотоэлектрические характеристики конечного устройства.

К основным факторам, влияющим на морфологию ZnO тонких пленок, относятся:

- температура отжига (annealing);
- скорость вращения при spin-coating;
- концентрация исходного раствора;
- толщина формируемой пленки;
- время сушки и кристаллизации.

Повышение температуры отжига приводит к увеличению размера кристаллитов и улучшению кристалличности пленки ZnO [6]. При этом происходит уменьшение количества структурных дефектов и снижение концентрации ловушек зарядов, что способствует улучшению электронного транспорта. Однако чрезмерно высокая температура может привести к образованию микротрещин и ухудшению однородности покрытия.

Скорость вращения при spin-coating также играет важную роль в формировании морфологии пленки. При увеличении скорости вращения уменьшается толщина слоя, что может способствовать формированию более однородной и гладкой поверхности. Напротив, низкие скорости вращения приводят к увеличению толщины пленки и возможному образованию агломератов.

Концентрация раствора напрямую влияет на вязкость золя и, следовательно, на толщину и плотность формируемой пленки. Более высокие концентрации приводят к образованию более толстых и плотных слоев, тогда как низкие концентрации способствуют формированию тонких и более прозрачных пленок.

Таким образом, комбинация указанных параметров позволяет целенаправленно оптимизировать морфологию ZnO пленок для достижения наилучших фотоэлектрических характеристик.

Следует отметить, что в современных исследованиях также рассматриваются дополнительные методы модификации ZnO, такие как легирование (doping) элементами Al, Mg или Ga, а также использование различных подложек для улучшения адгезии и кристаллической структуры материала [7].

Результаты и обсуждение

Анализ литературных данных показывает, что морфология ZnO тонких пленок оказывает непосредственное влияние на фотоэлектрические характеристики полимерных солнечных элементов. В частности, такие параметры, как шероховатость поверхности, размер зерен и однородность структуры, играют ключевую роль в процессах переноса и рекомбинации зарядов. Более гладкая поверхность ZnO способствует снижению плотности поверхностных дефектов и уменьшает вероятность рекомбинации электрон-дырочных пар на интерфейсе между электронно-транспортным слоем и активным полимерным слоем [7].

С другой стороны, умеренная шероховатость может способствовать увеличению площади контакта между слоями, что потенциально улучшает инжекцию и транспорт электронов. Таким образом, существует оптимальный диапазон морфологических параметров, при котором достигается максимальная эффективность устройства.

На рисунке 3 представлена зависимость эффективности полимерного солнечного элемента от морфологических характеристик ZnO пленки, включая шероховатость поверхности и размер зерен.

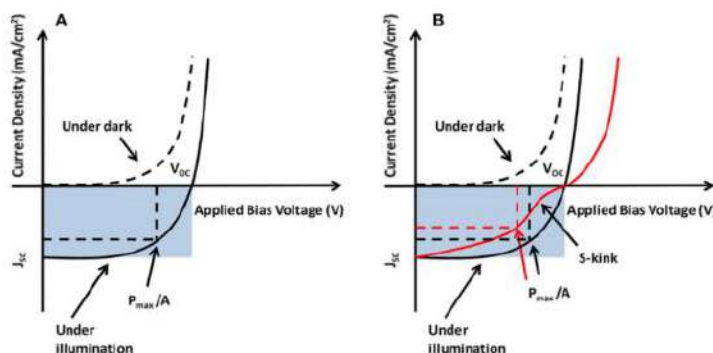


Рисунок 3 – Вольт-амперные характеристики полимерного солнечного элемента [7].

Как видно из представленных данных, с увеличением шероховатости поверхности наблюдается ухудшение межслоевого контакта, что приводит к росту рекомбинационных

потерь и снижению ключевых параметров устройства, таких как коэффициент заполнения (FF) и эффективность преобразования энергии (PCE). Это связано с тем, что неровности поверхности могут формировать локальные энергетические барьеры, препятствующие эффективному транспорту электронов.

Напротив, оптимизированная морфология ZnO характеризуется более однородной структурой с равномерным распределением зерен, что способствует улучшению электронного транспорта и снижению потерь на интерфейсе. В таких условиях наблюдается более эффективное разделение зарядов и их последующий перенос к электродам, что приводит к увеличению фотогенерации и росту общей эффективности устройства.

Дополнительно следует отметить, что размер зерен ZnO также оказывает значительное влияние на характеристики солнечного элемента. Увеличение размера зерен, как правило, приводит к уменьшению количества зернограничных дефектов, которые могут выступать в качестве центров рекомбинации. Однако чрезмерное укрупнение зерен может снижать однородность пленки, что также негативно отражается на стабильности устройства.

Таким образом, результаты литературного анализа подтверждают, что оптимизация морфологии ZnO тонких пленок является одним из ключевых факторов повышения эффективности полимерных солнечных элементов. Контроль таких параметров, как шероховатость поверхности и размер зерен, позволяет достичь баланса между эффективным транспортом зарядов и минимизацией рекомбинационных потерь.

Заключение

В данной работе проведен анализ влияния морфологии тонких пленок ZnO на фотоэлектрические характеристики полимерных солнечных элементов на основе литературных данных. Показано, что структура и морфологические особенности ZnO, такие как шероховатость поверхности, размер зерен и однородность пленки, играют ключевую роль в процессах генерации, разделения и транспортировки носителей заряда.

Оптимизация параметров синтеза, включая температуру отжига, скорость нанесения пленки и толщину слоя, позволяет существенно улучшить кристаллическую структуру ZnO и снизить количество структурных дефектов. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению рекомбинационных потерь и повышению эффективности переноса электронов в устройстве.

Установлено, что достижение оптимальной морфологии ZnO способствует улучшению межслойного интерфейса между электронно-транспортным слоем и активным полимерным слоем, что положительно влияет на такие ключевые параметры, как коэффициент заполнения (FF) и эффективность преобразования энергии (PCE).

Таким образом, результаты работы подтверждают, что контроль и целенаправленная оптимизация морфологии ZnO тонких пленок являются одним из наиболее эффективных инструментов повышения производительности полимерных солнечных элементов. Полученные выводы могут быть использованы при дальнейшей разработке высокоэффективных органических фотоэлектрических устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hau S. K., Yip H. L., Jen A. K. Y. Polymer solar cells: Recent development and possible routes to improvement // *Polymer Reviews*. – 2010. – Vol. 50. – No. 4. – P. 474-510.
2. Vittal R., Ho K. C. Zinc oxide based solar cells: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2017. – Vol. 70. – P. 920-935.
3. Trost S., et al. The Role of ZnO Surface Morphology in Polymer Solar Cells // *Advanced Energy Materials*. – 2013. – Vol. 3. – No. 11. – P. 1437-1444.
4. Liang Y., Yu L. New polymers for solar cells // *Chemical Society Reviews*. – 2010. – Vol. 39. – No. 12. – P. 4527-4546.
5. Znaidi L. Sol-gel-deposited ZnO thin films: A review // *Materials Science and Engineering: B*. – 2010. – Vol. 174. – No. 1-3. – P. 18-30.
6. Beitollahi A., et al. Effect of annealing temperature on the properties of ZnO thin films prepared by sol-gel method // *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. – 2015. – Vol. 26. – P. 5972-5980.
7. Zhang J., et al. Morphology control of ZnO electron transport layer for high-performance organic solar cells // *Nano Energy*. – 2016. – Vol. 28. – P. 32-39.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19787108>
УДК 541-67:863

ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В КУРСЕ ФИЗИКИ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ВУЗА

ГАСАНОВ ОКТАЙ МАИЛОВИЧ

доцент, доктор философии по физике, АГПУ, Баку, Азербайджан

Аннотация: *Парадигма образования, выдвинутая в концепции модернизации образования до 2010 года, определяет основную задачу профессионального образования: подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности, готового к профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности. Одним из решений данной задачи является развитие самостоятельности обучаемых через различные виды самостоятельной учебной деятельности (самостоятельной работы).*

Ключевые слова: *компьютерная техника, проектная деятельность, интернет, ИКТ, информационные технологии.*

Рассмотрим классификацию самостоятельных работ в основу которой положены *способы выполнения действий и уровень самостоятельности обучаемого.*

- Воспроизводящие работы, требующие от обучаемого главным образом репродуктивных действий, связанных с воспроизведением готовых знаний, образцов, что чаще всего наблюдается при решении типовых задач, выполнении упражнений.

- Поисковые (эвристические) работы, побуждающие обучаемых к активному осмыслению материала, поиску вариативных решений учебной задачи, анализу проблемной ситуации под руководством преподавателя, самостоятельному выполнению логических операций.

- Творческие работы, выполнение которых требует интенсивной самостоятельной деятельности.

Метод проектов относится к *творческим работам* и является очень перспективным в плане организации самостоятельной работы студентов.

Метод проектов всегда ориентирован на самостоятельную деятельность обучаемых – индивидуальную, парную, групповую, выполняемую в течение некоторого промежутка времени.

Выделим основные требования к использованию методов проектов:

1. Наличие значимой в исследовательском и творческом плане проблемы/задачи, требующей интегрированного знания, исследовательского поиска для ее решения.

2. Практическая, теоретическая, познавательная значимость предполагаемых результатов.

3. Самостоятельная деятельность учащихся.

4. Структурирование содержательной части проекта (с указанием поэтапных результатов).

5. Использование исследовательских методов, предусматривающих определенную последовательность действий:

- определение проблемы и вытекающих из нее задач;
- выдвижение гипотезы их решения;
- обсуждение методов исследования (статистических, экспериментальных, наблюдений);
- обсуждение способов оформления конечных результатов (презентаций, защиты, творческого отчета и пр.)

- сбор, систематизация и анализ полученных данных;
- подведение итогов, оформление результатов, их презентация;
- выводы, выдвижение новых проблем исследования.

Стремительное развитие информационных и коммуникационных технологий, более свободный доступ к информации дают принципиально новые условия для сферы образования. В этих условиях метод проектов сохраняет свою сущность, меняется лишь способ реализации, меняются организационные формы проектной деятельности.

В данной статье рассмотрим применение проектного метода при выполнении студентами физического практикума. Известно, что физический практикум является одной из основных форм занятий в высшем учебном заведении и позволяет студентам изучать физические явления, вырабатывать навыки экспериментальной деятельности, применять основные методы научного познания при выполнении лабораторных работ.

Как правило, лабораторные работы обычно выполняются по заданной преподавателем инструкции, что лишает студента самостоятельной творческой исследовательской деятельности. Мы предлагаем немного изменить деятельность студентов при выполнении лабораторных работ, используя метод проектов, т.е. предложить студентам проблему, которая может быть решена в рамках выполнения лабораторной работы.

Например, при выполнении натурной лабораторной работы «Исследование электростатических полей» студенты строят на миллиметровой бумаге по точкам эквипотенциальные поверхности, рассчитывают изменение модуля вектора напряженности в зависимости от расстояния. Проект, предложенный студентам, заключается в том, чтобы они создали компьютерную модель данной лабораторной работы, добавили к ней новые этапы исследования.

Другим перспективным вариантом использования информационных технологий при организации самостоятельной работы студентов младших курсов являются проекты, выполненные в формате презентаций. Их выполнение подразумевает углубленное освоение какого-либо раздела изучаемого студентом курса, самостоятельное решение сформулированных в задании проблем, создание компьютерных демонстраций, иллюстрирующих найденные решения, оформление результатов работы в виде текста, подготовка презентации и защиту работы. Так были выполнены презентации по теме «Волновые свойства света и их применение», которые будут использованы при чтении лекций, демонстраций и т.д.

По результатам работ – проектов, выполненных студентами, постепенно создается электронный учебный курс по физике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д. И. //Разнообразие компьютерных технологий по физике в средней школе// Международный научно-практический журнал ENDLESS LIGHT in SCIENCE, 17 Декабря 2022 Алматы, Казахстан, ст. 3-5.
2. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д.И. //Исследование проблем и перспектив внедрения компьютерных технологий по физике в средней школе// Международный научно-практический журнал «ГЛОБАЛЬНАЯ НАУКА И ИННОВАЦИЯ 2022: ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ» № 4(18). ДЕКАБРЬ 2022, Алматы, Казахстан, ст. 9-11.
3. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д.И. //Исследование проблем и перспектив использования компьютерных технологий в средней школе по физике// ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ, №87, Июль 2022 Самара, ст. 46-49.
4. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д. И. //Особенности виртуального эксперимента в преподавании физики// Журнал «Инновационные научные исследования», выпуск №4-1(18) Апрель 2022, Уфа.
5. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д. И. // ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИКТ В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ // NATIONAL ACADEMY OF SCIENTIFIC AND INNOVATIVE RESEARCH «SCIENCE AND EDUCATION: MODERN TIME» (ISSUE 16, SEPTEMBER 2025) Казахстан, г. Астана. ст.121-123.
6. Гасанов О.М. //РАЗЛИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ// МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION» 15 июня 2025 г. Almaty, Kazakhstan, ст. 6-9.
7. G. Əkbərova, N. Aslanov, X. Adigözəlova, I. Əlmərdanova // Fizikanın səmərəli tədrisində oyun və layihələrdən istifadənin rolu// IX INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OF YOUNG RESEARCHERS, 23-24, May 2025, Baku, Azerbaijan, səh. 634-638.
8. Гасанов О.М., Алимарданова И.М. // РОЛЬ ИКТ В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ// МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION» 15 февраля 2026 г. Almaty, Kazakhstan.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19787142>
УДК 541-67;863

ЭЛЕКТИВНЫЙ КУРС «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ФИЗИКЕ»

ГУСЕЙНОВ ДЖАХАНГИР ИСЛАМ ОГЛЫ

профессор, доктор физико-математических наук, АГПУ, Баку, Азербайджан

Аннотация: Обучение физике на старшей ступени средней школы осуществляется в соответствии со структурой физической теории (эмпирический базис, ядро теории, выводы, следствия, предсказание новых эффектов и их обнаружение в соответствующих экспериментах). Содержательная целостность познания (переходы в логике познания – от частного к общему и обратно) нарушается, когда в учебно-воспитательном процессе ученику не хватает времени на самостоятельный осознанный переход от абстрактного (общего) к конкретному (частному). Как известно, это достигается путем решения различных физических задач.

Ключевые слова: компьютерная техника, информационные технологии, интернет, ИКТ, физического эксперимента.

В статье рассматриваются возможности курса «Информационные технологии в физике» для поддержки профильного обучения физике.

Неумение школьников решать задачи связано, прежде всего, с непониманием ими физической теории. Объем содержания государственного образовательного стандарта по физике, на наш взгляд, не соответствует количеству времени на его изучение (5 часов на профильном уровне). Недостаток времени часто не позволяет учащемуся адекватно интерпретировать полученные знания. Это возможно при наличии большого времени на самостоятельную работу учащихся по практическому применению законов теории, определений понятий (абстрактных поначалу) для описания конкретных физических объектов, тогда абстрактное начинает постепенно наполняться конкретным содержанием и только тогда приходит понимание теории.

Для школьника и студента вуза источником и объектом познания являются не природные феномены, а результаты человеческого познания, зафиксированные в различных источниках информации. Как, используя информационные технологии, помочь ученику глубже понять физическую теорию, проявить ему свои способности, развить его мышление и самостоятельность, повысить его готовность к продолжению образования в вузе?

При отборе содержания и построении курса исходили из следующих принципов:

– цели деятельности должны быть для учащегося значимыми, ему должен быть понятен конкретный результат этой деятельности – материальный (какой-то продукт, например, проект, отчет, программа, модель и др.) и образовательный (что научусь делать, с какими важными представлениями, понятиями познакомлюсь и др.). Ориентация на результат по принципу «если нет результата – нет и опыта» пронизывает весь процесс;

– отобранный для изучения материал непосредственно связан с изучаемыми понятиями и законами физики, способствует их конкретизации; должен быть доступным и интересным для учащихся;

– умения в области ИТ осваиваются регулярно и распределено во времени, нарабатываются непроизвольно путем упражнений при решении физических задач. Большая часть учебного времени отводится на самостоятельную работу учащихся.

– Базовый учебно-исследовательский проект обязательно включает проведение физического эксперимента, сопоставление данных разных источников, самостоятельную трактовку особенностей результата в зависимости от исходных условий. Ученику готовой информации по теме проекта не даётся, сообщаются только критерии оценки результата и самой работы.

Учитель обеспечивает деятельность ученика, организуя продвижение его работы по всем этапам проекта.

– Предметом изучения становятся методы познания (анализ и синтез, абстрагирование и обобщение, гипотеза, аналогия). Особое методологическое значение имеет моделирование и прием использования компьютерных моделей тех физических процессов, которые подвергаются экспериментальному воспроизведению на уроке.

Начинается курс с создания текстовых документов «Отчет по лабораторной работе», «Задача по механике», «Опорный конспект». Практические работы нацеливают учащихся сопоставлять результаты исследований, приведённые в виде словесного описания, таблицы или графика (переводить имеющиеся данные из одной формы описания в другую), делать выводы, объяснять результаты опытов и наблюдений на основе известных физических явлений, законов и теорий. В ходе решения физических задач развиваются и конкретизируются многие математические понятия: функции, графики, уравнения, производная, интеграл, вектор и др. Особое значение придается умению строить графики: идеальных моделей и реальных процессов, построенных по результатам реального эксперимента.

Полноправной частью содержания темы «Методы научного познания» являются лабораторные работы.

Отдельные знания и умения по технологиям обработки и методам научного познания используются в системе в базовом учебно-исследовательском проекте (второе полугодие первого года обучения). В ходе работы над проектом учащиеся знакомятся с правилами подготовки реферата, особенностями доклада, требованиями к компьютерной презентации.

Защита проекта особенно важна тем, что достижения каждого стали достоянием всех учащихся.

Оканчивается курс серией занятий с использованием электронных учебных модулей в форме тестирования. Информационные технологии применяются для контроля знаний и умений и аттестации по физике. Считаем, что использование информационных технологий для решения физических задач в рамках данного курса позволяет учащимся глубже понимать физическую теорию, повышает их готовность к продолжению образования в вузе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д. И. //Разнообразие компьютерных технологий по физике в средней школе// Международный научно-практический журнал ENDLESS LIGHT in SCIENCE, 17 Декабря 2022 Алматы, Казахстан, ст. 3-5.
2. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д.И. //Исследование проблем и перспектив внедрения компьютерных технологий по физике в средней школе// Международный научно-практический журнал «ГЛОБАЛЬНАЯ НАУКА И ИННОВАЦИЯ 2022: ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ» № 4(18). ДЕКАБРЬ 2022, Алматы, Казахстан, ст. 9-11.
3. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д.И. //Исследование проблем и перспектив использования компьютерных технологий в средней школе по физике// ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ, №87, Июль 2022 Самара, ст. 46-49.
4. Гасанов О.М., Адгезалова Х.А., Гусейнов Д. И. //Особенности виртуального эксперимента в преподавании физики// Журнал «Инновационные научные исследования», выпуск №4-1(18) Апрель 2022, Уфа.
5. Гасанов О.М. //Различные информационные технологии на уроках физики// МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION» 15 июня 2025 г. Almaty, Kazakhstan, ст. 6-9.
6. Гасанов О.М., Алимарданова И.М. // РОЛЬ ИКТ В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ// МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION» 15 февраля 2026 г. Almaty, Kazakhstan.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19787218>
УДК 669.168

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦКОКСА ФРАКЦИИ 0–15 ММ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОХРОМА НА ПЕЧАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА МОЩНОСТЬЮ 72 МВт

ЖУМАГАЛИЕВ ЕРЛАН УЛАНОВИЧ

кандидат технических наук, ассоциированный профессор Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова, Актюбе Казахстан

ШАБАНОВ ЕРБОЛ ЖАҚСЫЛЫҚҰЛЫ

PhD, ассоциированный профессор Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова, Актюбе Казахстан

МОМЫНОВ НУРЛАН СЕРИКОВИЧ

Магистрант Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова, Актюбе Казахстан

ОРЫНБАЕВ БАУЫРЖАН МҮНАРБАЙҰЛЫ

Магистр естественных наук, ведущий специалист Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова, Актюбе Казахстан

КӨБЕГЕН ЕРБОЛАТ

Магистр технических наук, научный сотрудник Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова, Актюбе Казахстан

***Аннотация.** В статье рассматриваются актуальные вопросы повышения эффективности производства высокоуглеродистого феррохрома в печах постоянного тока мощностью 72 МВт. Основное внимание уделено поиску альтернативных углеродистых восстановителей, способных заменить дорогостоящий традиционный кокс. Авторы анализируют технологический потенциал применения спецкокса фракции 0–15 мм в качестве частичного или полного заменителя коксовой мелочи. Исследование направлено на оптимизацию электрического и температурного режимов плавки, характерных для агрегатов постоянного тока. В работе обосновано, что использование спецкокса позволяет существенно повысить степень извлечения хрома из рудного сырья. Полученные результаты подтверждают экономическую и технологическую целесообразность перехода на инновационные виды восстановителей для интенсификации выплавки ферросплавов.*

***Ключевые слова:** высокоуглеродистый феррохром, спецкокс, печь постоянного тока, фракция, оптимизация процесса, восстановитель.*

Введение.

В процессе производства стали для улучшения её свойств широко применяются различные ферросплавы [1,2,3]. Феррохром — это разновидность ферросплава, основным компонентом которого является хром и железо [4]. Феррохром содержит от 50% до 70% хрома, который классифицируется главным образом по содержанию углерода, что определяет его марку и область применения. В соответствии с этим феррохром подразделяется на высокоуглеродистый (4-9 % C), среднеуглеродистый (0,5-4 % C) и низкоуглеродистый (менее 0,5 % C) [5].

Производство высокоуглеродистого феррохрома является важным направлением ферросплавной промышленности, обусловленным стабильным спросом со стороны металлургического комплекса и высокими требованиями к качеству продукции [6,7]. Вместе

с тем данное производство характеризуется образованием значительных объёмов шлака, содержащего шестивалентный хром, что увеличивает экологическую нагрузку и ограничивает возможности его дальнейшего использования [8,9,10].

В этой связи актуально исследование методов повышения эффективности плавки на современных печах постоянного тока (ППТ) мощностью 72 МВт, среди которых особое внимание уделяется частичной или полной замене традиционного кокса на спецкокс фракции 0-15 мм. Применение такой стратегии способствует оптимизации технологического процесса.

Фракция 0–15 мм мелкодисперсного спецкокса характеризуется высокой реакционной способностью, увеличенной удельной поверхностью взаимодействия с оксидами хрома и железа и равномерным распределением в объёме шихты, что способствует более эффективному восстановлению Cr_2O_3 .

На ППТ мощностью 72 МВт применение данной фракции становится особенно актуальным благодаря высокой тепловой мощности печей и способности обеспечивать глубокое восстановление оксидов при контролируемом газовом режиме. Использование спецкокса фракции 0–15 мм обеспечивает повышение восстановления Cr_2O_3 за счёт увеличенной площади контакта и более активного протекания восстановительных реакций, что приводит к снижению содержания Cr_2O_3 в шлаке на 0,2–0,4 %. Также наблюдается снижение удельного расхода углерода благодаря лучшей усвояемости мелкой фракции, что потенциально позволяет уменьшить общий расход кокса на 3–5 %. Экономическая эффективность достигается за счёт использования отсевов от сортировки кокса, что снижает себестоимость процесса и уменьшает потери углерода с уносом и в шлаке. Дополнительно применение мелкодисперсного кокса обеспечивает экологические преимущества, выражающиеся в снижении угара при равномерном распределении материала и уменьшении выбросов пыли при организованной аспирации.

При этом использование данной фракции имеет и технические ограничения: возможны просыпы при транспортировке и сушке, что требует применения систем подпрессовки, а также увеличение сопротивления шихты, особенно при избыточном содержании фракции менее 3 мм. Кроме того, повышенное пылеобразование требует предварительного обеспыливания спецкокса.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования были проведены на промышленных печах постоянного тока (ППТ) мощностью 72 МВт, используемых для выплавки высокоуглеродистого феррохрома. В качестве основного объекта исследования рассматривалось влияние применения альтернативного углеродистого восстановителя — спецкокса фракции 0–15 мм — на технологические параметры процесса плавки и эффективность извлечения хрома из рудного сырья.

В состав шихтовых материалов входили хромсодержащая руда, традиционные углеродистые восстановители (кокс и антрацит), а также спецкокс фракции 0–15 мм, применяемый в качестве частичной или полной замены коксовой мелочи. Спецкокс характеризуется повышенной реакционной способностью и развитой удельной поверхностью, что способствует интенсификации восстановительных процессов.

Промышленные испытания проводились в период с августа по октябрь 2024 года на печах ПЦ №4. В ходе экспериментов варьировалось соотношение восстановителей в шихте, включая изменение доли спецкокса. При этом осуществлялся контроль основных технологических параметров процесса. В частности, контролировались расход восстановителей, таких как спецкокс и антрацит, а также влажность шихтовых материалов. Дополнительно оценивались зольность углеродистых компонентов, газодинамические параметры, включая давление в системе газоочистки, а также основные показатели работы печи, такие как мощность и устойчивость технологического режима.

Оценка эффективности процесса проводилась на основе анализа технологических и материальных показателей. В рамках анализа учитывался расход восстановителей по месяцам,

а также потери хрома и углерода в составе кека. Дополнительно оценивалась степень извлечения хрома из руды и удельный расход углерода. Также рассматривалась динамика простоев и снижений мощности печей, связанных с работой газоочистного оборудования.

Химический состав продуктов плавки (сплава, шлака и кека) определялся по данным производственного контроля. Особое внимание уделялось содержанию хрома и углерода в пылевых продуктах (кеке), а также степени угара углерода в процессе плавки.

Для обработки результатов использовались методы сравнительного анализа и статистической обработки данных, основанные на сопоставлении показателей за различные периоды эксплуатации печей (2023–2025 гг.), что позволило оценить влияние применения спецкокса на технико-экономические показатели процесса.

Результаты и обсуждение

Начиная с 2024 года на печах ПЦ №4 активно начали применять спецкокс фракции 0–15 мм. В период с августа по октябрь 2024 года были проведены испытания, направленные на изучение влияния пропорции восстановителей на технологический ход плавильных печей ПЦ №4, в ходе которых были получены следующие результаты.

Установлено, что при подаче спецкокса в составе шихтовых материалов через наклонную галерею влажность не превышала 2,0%, что обеспечивало стабильность процесса загрузки и подачи шихты. По данным 41–44-месячных наблюдений за расходом восстановителей, в августе навеска спецкокса составила 1593 кг, а антрацита — 634 кг. Увеличение общей навески восстановителей связано с высокой зольностью спецкокса, а также с необходимостью частых дополнительных добавок восстановителя для корректировки и поддержания требуемого состава расплава.

В сентябре месяце навеска спецкокса составила – 1719 кг, антрацита – 369 кг, в сравнении с предыдущим периодом количество потребления восстановителей на печах ниже на 139 кг, данное обстоятельство связано со снижением зольности спецкокса с 7,2 % в августе месяце до 7,02 % в сентябре месяце. В октябре месяце потребление восстановителей также было снижено, и составило: спецкокса – 978 кг, антрацита – 897 кг. в совокупности потребление в сравнении с предыдущими месяцами снижено на 213 кг, что говорит об относительной стабильности зольности спецкокса и снижением ее уровня до 6,18 %. Влага восстановителя за период не превышала 10%, среднее значение влаги за период составил 6,02 %. Заметное увеличение скачков свыше 2000 Па отобразилось на печах при влаге восстановителя свыше 8-10%, стоит отметить что количество скачков давления на печах разное, что говорит о индивидуальной работе газоочисток печей.

Далее приводим статистику простоев и снижении по газоочистному оборудованию, отметим что по данной статье отличительной разницы в работе печей не имеется. По потерям снижении мощности объясняется увеличение уставок мощности печей до 77 и 80 МВт.

Таблица 1. Потери по простоям и снижениям мощности по газоочистному оборудованию.

просто и по ГО	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек	Итого
2023	710,8	132,61	300,6	988,22	1219,15	134,7,0	150,7,3	497,8	679,9	700,4	716,2	168,5,9	1048,6,3
2024	248	400	211,5	104,3	953	906	604	962	100,4	149,7	895	834	1146,1
2025	506,6	114,3,0	253,1	481,85	642,9	580,98	583,55	446,3					4638,46

снижения по ГО	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек	Итого
2023	239,1	20,47	311,8	1267,2	1576,8	792,08	1042,9	346,6	231,9	360,7	297,8	619,02	7106,87
2024	890	781	876	305	1017	1057	843	902	1986	2003	1264	1193	13117
2025	449,6	1385,9	755,5	519,65	334,78	472,09	444,23	662,3					5024,2

Обратная картина по использованию спецкокса фракции 0-15 мм отобразилась на составе кека ХШП-03, где увеличились объемы углерода и металлического хрома.

В таблице 2 показаны потери хрома и углерода в составе кека. В 2023 году потери хрома с кеком составили 941,8 тонн, углерода 649,3 кг, в 2024 году потери хрома 5263,5 тонн, углерода 4,750 тонн, в 2025 году за 8 месяцев потери хрома составили 4800,4 тонн, углерода 4,240 тонн. данные обстоятельства крайне негативно сказываются на работе газоочистных сооружениях, что увеличили количество снижении мощности печей в 2024 году.

Таблица 2. Потери хрома и углерода в составе кека ПЦ№4.

2023	Хром в кеке, тонн	Потери хрома с кеком, %	Печное произв.	Углерод в сплаве (ориентировочно 8,5 %)	Углерод в кеке, кг	Угар углерода
январь	23,5	0,17	17377,93	1477,1	37,2	86,44
февраль	28,2	0,23	15054,22	1279,6	25,8	86,46
март	21,0	0,11	22418,6	1905,6	42,8	87,67
апрель	57,6	0,26	29747,55	2528,5	77,6	86,48
май	60,9	0,23	34501,98	2932,7	73,9	86,22
июнь	70,2	0,32	28821,93	2449,9	48,1	86,15
июль	122,1	0,44	33960,74	2886,7	62,9	86,72
август	97,7	0,37	30763,9	2614,9	40,1	86,76
сентябрь	95,4	0,37	31859,96	2708,1	38,6	86,79
октябрь	143,1	0,49	36558,83	3107,5	66,6	86,16
ноябрь	101,4	0,34	38412,55	3265,1	58,6	85,20
декабрь	120,8	0,44	33121,63	2815,3	77,1	87,32
среднее	78,5				54,1	86,53
2024	Хром в кеке, тонн	Потери хрома с кеком, %	Печное произв.	Углерод в сплаве (ориентировочно 8,5 %)	Углерод в кеке, кг	Угар углерода
январь	244,1	0,88	34076,91	2896,5	140,9	85,50
февраль	329,5	1,63	25004,11	2125,3	192,1	85,81
март	363,8	1,47	30668,81	2606,8	280,7	87,40
апрель	766,7	2,88	34302,95	2915,8	511,4	88,26
май	302,0	1,03	37827,96	3215,4	358,3	87,18
июнь	718,0	2,87	29804,9	2533,4	662,5	90,93
июль	292,9	1,13	31107,5	2644,1	266,6	89,12
август	422,8	1,66	31363,99	2665,9	468,0	89,02
сентябрь	519,5	2,02	31311,02	2661,4	497,0	89,61
октябрь	247,2	0,87	33560,48	2852,6	235,6	88,66

ноябрь	568,4	2,03	34245,26	2910,8	574,6	89,63
декабрь	488,7	1,78	35126,72	2985,8	562,3	90,04
среднее	438,6				395,8	88,43
2025	Хром в кеке, тонн	Потери хрома с кеком, %	Печное произв.	Углерод в сплаве (ориентировочно 8,5 %)	Углерод в кеке, кг	Угар углерода
январь	670,8	2,27	36917,45	3138,0	657,5	90,56
февраль	447,1	2,00	28736,65	2442,6	392,6	90,28
март	426,3	1,45	37283,34	3169,1	330,9	88,03
апрель	521,0	1,98	33815,01	2874,3	411,1	89,31
май	695,2	2,39	37316,87	3171,9	609,9	89,68
июнь	623,1	2,87	26147,59	2222,5	443,4	90,88
июль	971,1	3,35	28494,000	2422,0	885,3	93,60
август	445,6	1,49	28475,000	2420,4	509,4	92,47
среднее	600				530,0	90,60

По данному разделу были получены следующие выводы. При использовании спецкокса Шубаркуль фракции 0–15 мм установлено, что потери хрома в кеке составляют около 3%, тогда как в стандартных условиях производства ВУ ФХ допустимое значение не превышает 1,5%. При этом степень извлечения хрома из руды достигает 97%, однако высокая зольность спецкокса снижает его восстановительную активность и способствует увеличению содержания хрома в пылях.

Также наблюдается угар углерода свыше 85%. Возможными причинами данного явления являются избыточная температура или переобогащение восстановительной зоны газами, что приводит к интенсивному образованию CO; высокая реакционная способность кокса (высокий CRI), вызывающая ускоренное протекание реакций углерода; недостаточное восстановление шлаков, вследствие чего углерод используется неэффективно; частичный уход углерода в газовую фазу в виде CO₂ без участия в восстановительных реакциях; а также недостаток крупных фракций кокса, что снижает газопроницаемость шихты и увеличивает долю CO₂.

В результате указанных факторов наблюдаются повышенные потери углерода, возможное переокисление среды, снижение степени восстановления хрома и перерасход спецкокса.

Для оптимизации процесса рекомендуется осуществлять строгий фракционный контроль, ограничивая содержание фракции менее 3 мм на уровне не более 15%. Влажность шихтовых материалов следует поддерживать не выше 2,0% для обеспечения стабильности подачи. Доля спецкокса в шихте может составлять до 30–40% от общего объема восстановителя, при этом предпочтительно использование фракции 10–25 мм.

Заключение

Применение спецкокса фракции 0–15 мм в печах постоянного тока мощностью 72 МВт при производстве высокоуглеродистого феррохрома (ВУ ФХ) является технологически обоснованным и экономически эффективным решением. Использование данной фракции в мощных агрегатах позволяет оптимизировать электрический режим работы печи и стабилизировать положение электродов, что критически важно для высокомоощных систем постоянного тока.

Ключевыми преимуществами внедрения являются повышение извлечения хрома, поскольку оптимальная реакционная способность спецкокса обеспечивает более полное протекание восстановительных процессов. Также достигается снижение удельных затрат за счет точного контроля гранулометрического состава, что позволяет минимизировать угар углерода и сократить расход энергоресурсов. Дополнительно наблюдается рост

производительности процесса, так как стабильный газовый режим и рациональная организация подачи шихты способствуют увеличению суточного выхода годного металла.

Таким образом, переход на спецкокс фракции 0-15 мм при соблюдении регламента контроля качества сырья позволяет достичь максимальных технико-экономических показателей плавки, обеспечивая конкурентоспособность производства в современных условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Dworak S., Fellner J. Образование стального лома в ЕС-28 с 1946 года — источники и состав // *Resources, Conservation and Recycling*. 2021. Т. 173.
2. Qian Kou, Weiliang Jin, Guolong Liu et al. Электролитическое рафинирование высокоуглеродистого феррохрома для получения чистого феррохрома в расплаве NaCl-KCl // *International Journal of Electrochemical Science*. 2019. Т. 14, Вып. 9. С. 8557–8568.
3. Yong Wang, Chengsong Liu, Hongwei Ni et al. Влияние сплавов феррохрома (FeCr) и феррониобия (FeNb) на характеристики включений и выделений в аустенитных нержавеющей сталях // *Journal of Materials Research and Technology*. 2023. Т. 25. С. 4989–5002.
4. Beukes J. P., du Preez S. P., van Zyl P. G. et al. Обзор экологических практик в отношении Cr (VI) в горнодобывающей и плавильной промышленности хромитов - применимость к освоению региона «Огненное кольцо» (Ring of Fire), Канада // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Т. 165. С. 874–888.
5. du Preez S. P., van Kaam T. P. M., Ringdalen E. et al. Обзор применяемых в настоящее время процессов производства феррохрома и методов управления их отходами // *Minerals*. 2023. Т. 13, Вып. 6.
6. Tandersen D., Taimullah A., Islam I. et al. Быстрое и устойчивое производство феррохрома из хромитовой руды путем водородного плазменного восстановительного плавления // *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 2025. Т. 45. С. 1045–1062.
7. Eric R. H. Производство ферросплавов // *Treatise on Process Metallurgy* / под ред. S. Seetharaman и др. 2-е изд. Elsevier, 2024. С. 415–453.
8. Pujary A., Mohanty S., Rath T. P. et al. Физико-химическая и микроструктурная оценка феррохромового шлака для рассмотрения возможности его утилизации // *Materials Today: Proceedings*. 2024.
9. Herlina U., Nurjaman F., Suharno B. et al. Термохимическое влияние количества флюса и кокса на плавку низкосортного хромитового песка на феррохром // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2025. Т. 15, Вып. 3.
10. Coertzen D. W., Bessarabov D. G., du Preez S. P. Декарбонизация производства феррохрома посредством водородного предварительного восстановления окислительно-спеченных хромитовых окатышей // *Journal of Sustainable Metallurgy*. 2026. Т. 12. С. 2153–2171

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19787314>

О,N-АТОМДАРЫМЕН ТОЛЫҚТЫРЫЛҒАН КӨМІРТЕКТІ НҮКТЕЛЕРДІҢ СПЕКТРЛІК-ЛЮМИНЕСЦЕНТТІК ҚАСИЕТТЕРІ ЖӘНЕ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАЦИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ

М.Б. БЕЙСЕМБЕКОВ, Ж. НУРБОЛАТ, АБАЙҚЫЗЫ Ж, САМАТОВА А

Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, физика-техникалық факультеті

Аннотация. Бұл жұмыста О,N-атомдарымен толықтырылған көміртекті нүктелер (КН) микротолқынды синтез әдісі арқылы алынып, олардың спектрлік-люминесценттік қасиеттері мен фотосенсибилизациялық белсенділігі жан-жақты зерттелді. Алынған нанобөлшектердің орташа өлшемі 17 ± 3 нм болатын сфералық пішінді екендігі анықталды. ИК-Фурье спектроскопиясы олардың құрамында гидроксил, карбоксил және амин топтарының бар екенін көрсетті. КН-нің жұту және флуоресценция спектрлері зерттеліп, флуоресценция максимумының 520 нм аймағында орналасатыны анықталды.

Еріткіш құрамының әсері зерттеліп, этанол үлесі артқан сайын флуоресценция қарқындылығы мен синглетті оттегі генерациясының тиімділігі өсетіні байқалды. Синглетті оттегінің кванттық шығымы $\phi_{\Delta} \approx 0,29$ екені анықталды. Сонымен қатар, баяу флуоресценция құбылысы тіркеліп, оның өмір сүру уақыты микросекундтық диапазонда болатыны көрсетілді.

Зерттеу нәтижелері О,N-құрамды көміртекті нүктелердің тиімді фотосенсибилизаторлар екенін және олардың фотодинамикалық терапия мен биомедициналық технологияларда қолдану мүмкіндігі жоғары екенін дәлелдейді.

Кілтсөздер: көміртекті нүктелер, фотолюминесценция, синглетті оттегі, фотосенсибилизация, спектрлік қасиеттер, фотодинамикалық терапия

Кіріспе

Синглетті оттегі $O_2(^1\Delta_g)$ – қатерлі ісіктің фотодинамикалық терапиясында, органикалық синтезде және суды зарарсыздандыру мен ластаушы заттардың фотодеградациясы сияқты экологиялық тазарту процестерінде сұранысқа ие әмбебап бастапқы тотықтырғыш болып табылады. Оның әсер ету механизмі сенсibilизатор-молекулалардың жарықпен белсендірілуіне негізделген.[10,11] Бұл молекулалар интеркомбинациялық конверсия арқылы метастабильді триплеттік күйге ауысып, цитотоксикалық оттегінің активті формаларының (ОАФ) генерациясын қамтамасыз етеді.[1, 2]

Тиімді фотосенсибилизаторлар [9] ретінде көміртекті нүктелер ерекшеленеді - бұл графитті ядродан және функционалды қабықшадан тұратын, жоғары тұрақтылыққа, биоүйлесімділікке [3,4] және фотолюминесценция [18,19] қабілетіне ие наноөлшемді бөлшектер. Көміртекті нүктелердің фотодинамикалық [12,14] белсенділігі олардың химиялық құрамы [6,8] мен құрылымына тікелей тәуелді. Мысалы, азотпен қоспалау синглетті оттегінің кванттық шығымын 0,35-ке дейін жеткізуге мүмкіндік береді, ал азот пен күкіртті бірлесе енгізу генерация процесінің селективтілігін арттырады [13]. Зерттеулер көрсеткендей, 1O_2 сенсibilизациясының [4,5] негізгі факторы – sp^2 -көміртекті домендердегі ақаулардың азотқұрамды топтармен үйлесуі, ал тек оттегі функционалды топтарының болуы ОАФ-тың басым түзілуіне ықпал етеді.Осылайша, көміртекті нүктелер құрылымын мақсатты түрде модификациялау олардың сипаттамаларын оңтайландыруға мүмкіндік береді, дегенмен бұл бөлшектердің құрылысы мен реакциялық қабілеті арасындағы нақты корреляцияларды анықтау өзекті ғылыми міндет болып қала береді.

О,N-атомдарымен толықтырылған КН синтездеу үшін лимон қышқылы мен карбамидтің 1:4 массалық қатыстағы қоспасын микротолқынды қыздыру әдісі қолданылды. Бастапқы реагенттер DraWEL қондырғысында алынған иондардан тазартылған суда ерітіліп, содан

кейін ерітінді ультрадыбыстық өңдеуден өткізіліп, қуаты 800 Вт микротолқынды пеште 6 минут бойы қыздырылды. Процестің аяқталғанын қоңыр-қошқыл түсті қатты заттың түзілуі айқындады. Содан кейін бұл зат ұсақталып, этанолда ерітілді және 10000 айн/мин жылдамдықпен центрифугалау процесі арқылы ірі агломераттардан тазартылды. Алынған өнім негізінде оптикалық тығыздықты қатаң бақылай отырып, құрамындағы судың көлемдік үлесі 25, 50 және 75% болатын жұмыс ерітінділері дайындалды [15,16].

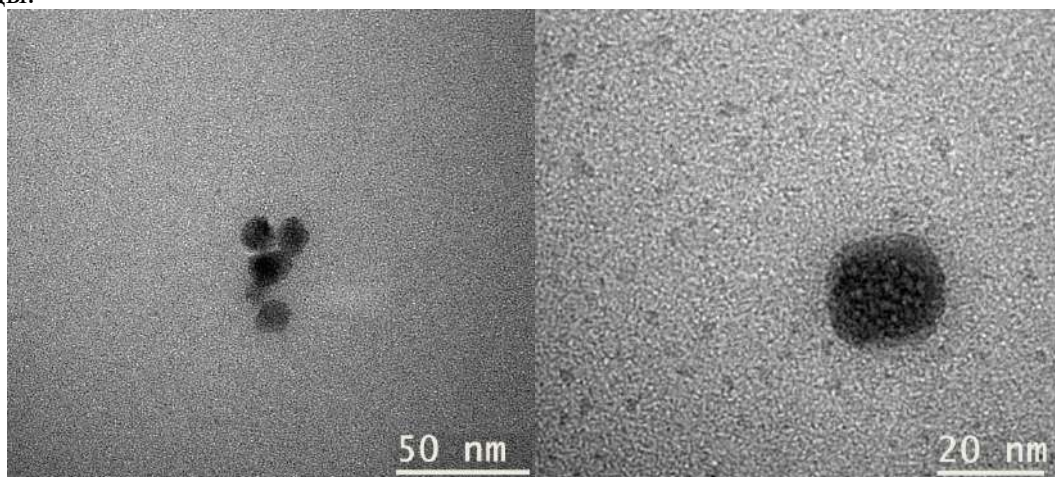
Синтезделген нанобөлшектердің қасиеттерін кешенді талдау бірқатар спектрлік әдістерді қолдану арқылы жүзеге асырылды. Химиялық құрылымы мен функционалды топтардың болуы IR5 ИК-Фурье спектрометрінде ИК-спектрлерін тіркеу арқылы расталды. Ерітінділердің жұту спектрлерін талдау Cary-300 спектрофотометрінде орындалды [21,22].

Флуоресценция сипаттамалары мен оның кинетикасы, соның ішінде қозған күйлердің өмір сүру уақыты, толқын ұзындығы 404 нм импульстік лазерді қолдана отырып, Eclipse және FLS1000 спектрометрлерінде зерттелді.

Фотофизикалық процестердің тиімділігі флуоресценцияның және синглетті оттегі генерациясының кванттық шығымдарын есептеу арқылы бағаланды. Өлшеулер салыстырмалы әдіспен жүргізілді, мұнда эталон ретінде хинин бисульфаты мен Bengal Rose[20] бояғышы қолданылды. Қорытынды мәндер үлгілер мен стандарттардың интегралдық жарқырау интенсивтілігін салыстыру негізінде, олардың қоздыру толқын ұзындығындағы жұту қабілетіне түзету коэффициенттерін енгізу арқылы есептелді.[19]

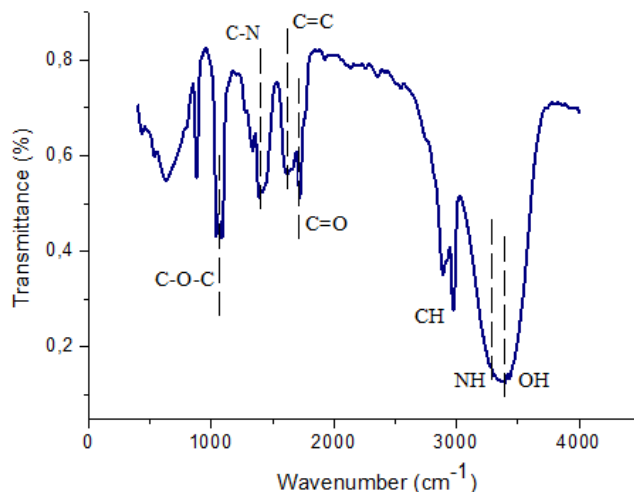
Негізгі бөлім

Трансмиссиялық электронды микроскоп (ТЭМ) деректерінен синтезделген КН негізінен сфералық пішінді екендігі, ал олардың өлшемдері орташа диаметрі 17 ± 3 нм бола отырып, 12-ден 20 нм-ге дейінгі аралықта өзгеретіні анықталды (1-сурет). Нанобөлшектер өлшемдері бойынша салыстырмалы түрде тар үлестірімді көрсетеді, бұл үлгінің жоғары біртектілігін айқындайды.



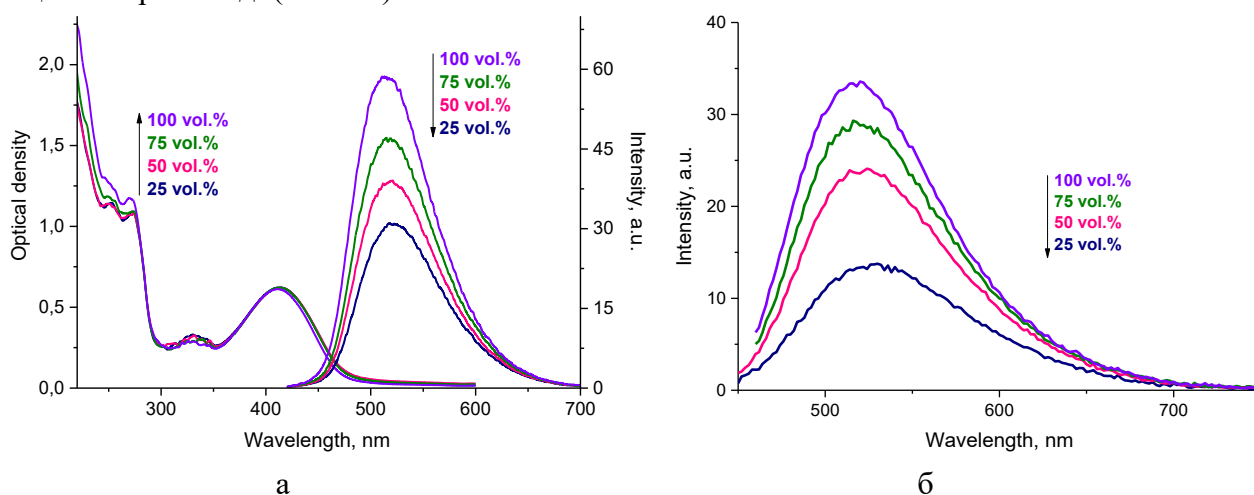
1-сурет. Синтезделген КН ТЭМ-кескіні

Алынған КН ИК-Фурье спектрлерінде нүктелер құрылымындағы әртүрлі функционалды топтардың бар екендігін анықтауға мүмкіндік беретін сипатты пиктер тіркелді. Ең айқын жолақтар 3417 және 3216 см^{-1} аймағында байқалады. Олар сәйкесінше $-\text{OH}$ және $-\text{NH}$ байланыстарының валенттік тербелістеріне сәйкес келеді. 1717 см^{-1} аймағындағы пикті $-\text{C}=\text{O}$ карбонил тобының валенттік тербелістеріне жатқызуға болады. Бұл карбоксил топтарының бар екендігін көрсетеді. Көміртекті нүктелер бетінде карбоксил топтарының болуы олардың полярлы еріткіштермен оңай әрекеттесуіне мүмкіндік береді. 1409 және 1452 см^{-1} маңындағы жолақтар сәйкесінше $\text{C}-\text{N}$ байланыстарының валенттік тербелістерімен және бензол қаңқасының тербелістерімен байланысты [23,24]. Бұл пиктердің болуы көміртекті нүктелер құрылымында азотты функционалды топтардың бар екендігін айғақтайды.



2-сурет. Құрамында О мен N атомдары бар КН ИК-Фурье спектрі

Синтезделген КН электрондық жұту спектрінде (3а-сурет) максимумы 410 нм маңында және ~330 нм аймағында «иіні» бар жолақ тіркелді, ол КН-дегі $n \rightarrow \pi^*$ ауысуларының нәтижесі болып табылады. Сондай-ақ, 250–270 нм аймағында көміртекті нүктелердің көміртекті ядросындағы $\pi \rightarrow \pi^*$ ауысуларымен байланысты интенсивті жұту жолағы байқалады. Өлшеу нәтижелері көрсеткендей, КН этанол ерітіндісіне су қосу – жұту спектрлерінің пішініне айтарлықтай әсер етпейді (1-кесте).



3-сурет. O,N- атомдарымен толықтырылған КН этанол мөлшері әртүрлі ерітінділердегі жұту және флуоресценция (а) спектрлері, сондай-ақ баяу флуоресценция (б) спектрлері, $\lambda_{exc}=410$ нм.

Синтезделген КН флуоресценция жолағының максимумы 520 нм-ге сәйкес келеді (3а-сурет, 1-кесте). Флуоресценцияның ең жоғары қарқындылығы 100% этанолдағы КН үшін тіркелді. КН судағы және этанолдағы флуоресценциясының кванттық шығымы (ϕ_f) сәйкесінше 0,13 және 0,45 -ті құрады. көміртекті нүктелердің флуоресценциясының өмір сүру уақыты $\tau_f=10,9 \pm 0,15$ нс құрайды және этанол:су қатынасына іс жүзінде тәуелді емес.

1-кесте. Этанол мөлшері әртүрлі ерітінділердегі құрамында О мен N бар көміртекті нүктелердің спектрлік және люминесценттік қасиеттері

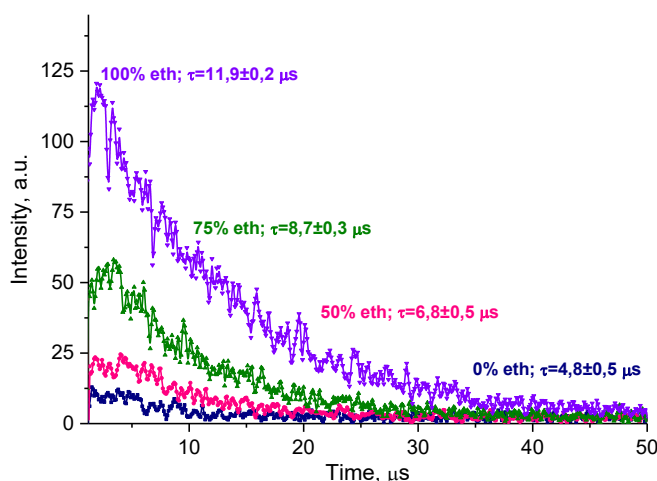
Этанол концентрациясы, %	λ_{abs} , нм	D	λ_{Fl} , нм	I^{Fl} , о.е.	λ_{DF} , нм	I^{DF} , о.е.
25	410	0,62	520	31,1	526	13,7
50	410	0,62	520	39,2	522	23,8

75	410	0,62	520	47,2	520	28,8
100	410	0,61	520	58,9	520	33,5

Әрі қарай этанол концентрациясы әртүрлі ерітінділердегі синтезделген O,N-құрамды КН ұзақ люминесценция қасиеттері зерттелді. Алынған спектрлік деректерге сәйкес (3б-сурет), ұзақ люминесценция жолағының максимумы олардың тез флуоресценция спектрінің максимумымен сәйкес келеді, бұл байқалатын кейінгі жарқырауды КНбаяу флуоресценция құбылысына жатқызуға мүмкіндік береді. Жүйелердің ұзақ жарқырау қарқындылығы еріткіштегі су үлесі артқан сайын біртіндеп төмендейтіні анықталды. Бұл әсер көміртекті нанокұрылымдар үшін жақсы белгілі және су қатысында олардың беткі функционалды қабаттары ригидтілігінің төмендеуімен түсіндіріледі, бұл қозған күйлердің сәулесіз дезактивациялану ықтималдығының артуына әкеледі.

Таза этанол ортасындағы КН үлгілері үшін баяу флуоресценцияның сөну кинетикасы $\tau=44,5\pm 0,47$ мкс өмір сүру уақыты бар экспоненциалды тәуелділікпен сипатталады. Айта кету керек, ерітіндідегі этанол мен су қатынасын өзгерткен кезде көміртекті нүктелердің баяу флуоресценция ұзақтығы шамалы ғана өзгереді, бұл орта полярлығының берілген нанокұрылымдардың қозған күйлерінің радиациялық сипаттамаларына әсерінің салыстырмалы түрде әлсіз екендігін көрсетеді. Ерітінділердегі КНфосфоресценциясы байқалмады. Синтезделген КН атмосфералық қысымда молекулалық оттегіні O_2 белсендіру үшін фотосенсибилизаторлар ретінде пайдаланылды. $\lambda_{exc}=410$ нм толқын ұзындығымен КН үлгілерін фотоқоздыру кезінде $\lambda_{reg}=1270$ нм толқын ұзындығында синглетті оттегінің сенсбилизацияланған фосфоресценциясының сөну кинетикалық қисықтары тіркелді (4-сурет).

1270 нм толқын ұзындығында байқалатын сәуле шығару $O_2(^1\Delta_g \rightarrow ^3\Sigma_g^-)$ ауысуына сәйкес келеді және КН қатысында синглетті оттегінің генерациялануының тікелей дәлелі болып табылады.



4-сурет – Этанол мөлшері әртүрлі ерітінділердегі O,N-атомдарымен толықтырылған КН арқылы сенсбилизацияланған $O_2(^1\Delta_g)$ фосфоресценциясының сөну кинетикасы ($\lambda_{reg}=1270$ нм)

КН ерітіндісіндегі су үлесінің азаюы $O_2(^1\Delta_g)$ жарқырау кинетикасы қарқындылығының артуына әкелетінін көрсетті, бұл оның сенсбилизациялану тиімділігінің жоғарылағанын айғақтайды. Бұл ретте судағы синглетті оттегі фосфоресценциясының ұзақтығы $4,8\pm 0,5$ мкс құрайды, ал этанол ерітіндісінде бұл көрсеткіш $11,9\pm 0,2$ мкс-қа дейін артады. Этанол өз құрылымындағы –ОН топтары санының аздығына және оттегінің ерігіштігінің жоғары болуына байланысты, КН фотосенсибилизаторларымен реакцияға түсуге қабілетті оттегі молекулаларының неғұрлым жоғары концентрациясы үшін қолайлы жағдай жасайды.

O,N-құрамды КН үшін синглетті оттегі ($^1\text{O}_2$) генерациясының кванттық шығымы бойынша сандық мәліметтер оның $\phi_{\Delta}=0,29$ тең екенін көрсетті.

Қорытынды

Жұмыста орташа диаметрі 17 ± 3 нм болатын сфералық пішінді O,N-атомдарымен толықтырылған КН синтезделді. Олардың бетінде гидроксил, карбоксил және амин топтарының болуы бөлшектердің полярлы орталардағы тұрақтылығын қамтамасыз етеді және олардың бірегей оптикалық қасиеттерін анықтайды. КН құрылымындағы оттегі мен азот атомдары синглетті оттегі генерациясының кванттық шығымы $\phi_{\Delta}\approx 0,29$ -ға тең екендігі анықталды. КН ерітінділерін зерттеу барысында этанол үлесі артқан сайын $\text{O}_2(^1\Delta_g)$ сенсбилизациялану тиімділігінің жоғарылайтынын көрсетті, бұл оның өмір сүру уақыты мен фосфоресценция қарқындылығының артуымен расталады. Алынған нәтижелер O,N-атомдарымен толтырылған КН жоғары тиімді сенсбилизаторлар екенін және олардың фотодинамикалық терапия мен биомедициналық технологияларда қолданылу келешегі зор екенін айғақтайды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР:

1. Ishchenko A.A., Syniugina A.T. (2023) Structure and photosensitizer ability of polymethine dyes in photodynamic therapy: A review. *Theor. Exp. Chem.*, 58(6), 373-401. <https://doi.org/10.1007/s11237-023-09754-9>
2. Singleton D.A., Hang Ch., Szymanski M.J., Meyer M.P., Leach A.G., Kuwata K.T., Chen J.S., Greer A., Foote Ch.S., Houk K.N. (2003) Mechanism of ene reactions of singlet oxygen. A two-step no-intermediate mechanism. *J. Am. Chem. Soc.*, 125(5), 1319-1328. <https://doi.org/10.1021/ja027225p>
3. Sagadevan A., Hwang K.C., Su M.D. (2017) Singlet oxygen-mediated selective C–H bond hydroperoxidation of ethereal hydrocarbons. *Nat. Commun.*, 8(1), 1812. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01906-5>
4. Schmidt R. (2006) Photosensitized generation of singlet oxygen. *Photochem. Photobiol.*, 82(5), 1161-1177. <https://doi.org/10.1562/2006-03-03-IR-833>
5. Aerssens D., Cadoni E., Tack L., Madder A. (2022) A photosensitized singlet oxygen ($^1\text{O}_2$) toolbox for bio-organic applications: Tailoring $^1\text{O}_2$ generation for DNA and protein labelling, targeting and biosensing. *Molecules*, 27(3), 778. <https://doi.org/10.3390/molecules27030778>
6. Bregnhøj M., Prete M., Turkovic V., Petersen A.U., Nielsen M.B., Madsen M., Ogilby P.R. (2019) Oxygen-dependent photophysics and photochemistry of prototypical compounds for organic photovoltaics: inhibiting degradation initiated by singlet oxygen at a molecular level. *Methods Appl. Fluoresc.*, 8(1), 014001. <https://doi.org/10.1088/2050-6120/ab4edc>
7. Pibiri I., Buscemi S., Palumbo Piccionello A., Pace A. (2018) Photochemically produced singlet oxygen: Applications and perspectives. *ChemPhotoChem*, 2(7), 535-547. <https://doi.org/10.1002/cptc.201800076>
8. Wang Y., Lin Y., He S., Wu S., Yang C. (2024) Singlet oxygen: Properties, generation, detection, and environmental applications. *J. Hazard. Mater.*, 461, 132538. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132538>
9. Minaev B.F., Murugan N. A., Ågren H. (2013) Dioxygen Spectra and Bioactivation. *Inter. J. Quant. Chem.*, 113, 1847–1867.
10. Wang B., Lu S. (2022) The light of carbon dots: From mechanism to applications. *Materials Today*, 5(1), 110-149. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2021.10.016>
11. Li M., Yu C., Hu C., Yang W., Zhao C., Wang S., Qiu J. (2017) Solvothermal conversion of coal into nitrogen-doped carbon dots with singlet oxygen generation and high quantum yield. *Chem. Eng. J.*, 320, 570-575. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.090>

12. Zuo P., Peng J., Yao Y., et al. (2024) Fabrication of carbon dots with singlet oxygen generation and their potential photodynamic therapy applications. *J. Fluoresc.* <https://doi.org/10.1007/s10895-024-03725-6>.
13. Madrid A., Martinez G., Hornos F., Bonet-Aleta J., Calvo E., Lozano A., Hueso J.L. (2023) Laser-induced tuning of carbon nanosensitizers to maximize nitrogen doping and reactive oxygen species production in the visible range. *Catal. Today*, 422, 114214. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2023.114214>.
14. Pillar-Little T.J., Wanninayake N., Nease L., Heidary D.K., Glazer E.C., Kim D.Y. (2018) Superior photodynamic effect of carbon quantum dots through both type I and type II pathways: Detailed comparison study of top-down-synthesized and bottom-up-synthesized carbon quantum dots. *Carbon*. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.09.004>.
15. Ibrayev N., Seliverstova E., Amanzholova G. (2023) Activation of molecular oxygen by triplet states of S,N-doped carbon dots. *Chem. Phys. Lett.*, 833, 140947. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2023.140947>.
16. Ibrayev N., Nuraje A., Amanzholova G., et al. (2023) The effect of plasmons of silver nanoparticles on the luminescence of S,N- doped carbon dots. *Eng. Sci.*, 26, 1037-1048. <https://doi.org/10.30919/es1037>.
17. Ibrayev N.Kh., Aimukhanov A.K. (2019) Influence of plasmon resonance in silver nanoparticles on the properties of stimulated emission of 1,3,5,7,8-pentamethyl-2,6-diethylpyrromethene-difluoroborate molecules in film of porous aluminum oxide. *Opt. Laser Technol.*, 115, 246-250. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.02.040>.
18. Dong J., Gao W., Han Q., et al. (2019) Plasmon-enhanced upconversion photoluminescence: mechanism and application. *Phys. Rev. J.*, 4, 100026. <https://doi.org/10.1016/j.revip.2018.100026>.
19. Sahiner N., Suner S.S., Sahiner M., et al. (2019) Nitrogen and sulfur doped carbon dots from amino acids for potential biomedical applications. *J. Fluoresc.*, 29(5), 1191-1200. <https://doi.org/10.1007/s10895-019-02431-y>.
20. Neckers D.C. (1989) Rose Bengal. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 47(1), 1–29. [https://doi.org/10.1016/1010-6030\(89\)85002-6](https://doi.org/10.1016/1010-6030(89)85002-6).
21. Helman W.P., Wilkinson F. (1993) Quantum yields for the photosensitized formation of singlet oxygen. *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 22(6), 113–262. <https://doi.org/10.1063/1.555940>.
22. Hoebeke M., Damoiseau X. (2002) Photosensitizing properties of rose bengal in various solvents: determination of singlet oxygen quantum yield. *Photochem. Photobiol. Sci.*, 1, 283–289. <https://doi.org/10.1039/B110442N>
23. Redmond R.W., Gamlin J.N. (1999) A compilation of singlet oxygen yields from biologically relevant molecules. *Photochem. Photobiol.*, 70(4), 391–475. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1999.tb08240.x>.
24. Ibrayev N., Dzhanabekova R., Amanzholova G., et al. (2021) Optical properties of N- and S-doped carbon dots based on citric acid and L-cysteine. *Fullerenes, Nanotubes Carbon Nanostruct.*, 30(1), 1-5. <https://doi.org/10.1080/1536383X.2021.1999933>.
25. Qu S., Liu X., Guo X., et al. (2013) Amplified spontaneous green emission and lasing emission from carbon nanoparticles. *Adv. Funct. Mater.*, 24(18), 2689-2695. <https://doi.org/10.1002/adfm.201303352>.
26. Li Q., Zhou M., Yang M., et al. (2018) Induction of long-lived room temperature phosphorescence of carbon dots by water in hydrogen-bonded matrices. *Nat. Commun.*, 9, 734. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03144-9>.
27. Ogilby P.R. (2010) Singlet oxygen: there is indeed something new under the sun. *Chem. Soc. Rev.*, 39(8), 3181-3209. <https://doi.org/10.1039/b926014p>.
28. Лакович Дж. (1986) Основы флуоресцентной спектроскопии. Пер. с англ. М.: Мир, 496 с.

СОДЕРЖАНИЕ CONTENT

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

МАМАТОВ ТО‘ЛҚИН YUSUPOVICH [BUXORO, O‘ZBEKISTON] KASR TARTIBLI DIFFERENSIAL TENGLAMALARNI SHEKLI ELEMENTLAR USULI ASOSIDA SONLI YECHISH.....	3
АЛУАДИНОВА МЕРУЕРТ МҰХТАРҚЫЗЫ [АҚТАУ, ҚАЗАҚСТАН] ҚОЛДАНБАЛЫ ЫҚТИМАЛДЫҚ ЕСЕПТЕРІ АРҚЫЛЫ ОҚУШЫЛАРДЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ МОДЕЛІ.....	11
ТУГАНБЕКОВА АЛУА САГЫНДИКҚЫЗЫ, СЕЙСЕМБЕКОВА Т. Е. [КАРАҒАНДА, КАЗАХСТАН] ОПТИМИЗАЦИЯ МОРФОЛОГИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ZNO И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	16
ГАСАНОВ ОКТАЙ МАИЛОВИЧ [БАКУ, АЗЕРБАЙДЖАН] ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В КУРСЕ ФИЗИКИ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ВУЗА.....	22
ГУСЕЙНОВ ДЖАХАНГИР ИСЛАМ ОГЛЫ [БАКУ, АЗЕРБАЙДЖАН] ЭЛЕКТИВНЫЙ КУРС «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ФИЗИКЕ».....	25
ЖУМАГАЛИЕВ ЕРЛАН УЛАНОВИЧ, ШАБАНОВ ЕРБОЛ ЖАҚСЫЛЫҚҰЛЫ, МОМЫНОВ НУРЛАН СЕРИКОВИЧ, ОРЫНБАЕВ БАУЫРЖАН МҰНАРБАЙҰЛЫ, КӨБЕГЕН ЕРБОЛАТ [АКТОБЕ КАЗАХСТАН] ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦКОКСА ФРАКЦИИ 0–15 ММ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОХРОМА НА ПЕЧАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА МОЩНОСТЬЮ 72 МВт.....	27
М.Б. БЕЙСЕМБЕКОВ, Ж. НУРБОЛАТ, АБАЙҚЫЗЫ Ж, САМАТОВА А. [КАРАҒАНДЫ, ҚАЗАҚСТАН] O,N-АТОМДАРЫМЕН ТОЛЫҚТЫРЫЛҒАН КӨМІРТЕКТІ НҮКТЕЛЕРДІҢ СПЕКТРЛІК-ЛЮМИНЕСЦЕНТТІК ҚАСИЕТТЕРІ ЖӘНЕ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАЦИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ.....	33



"IN THE WORLD OF SCIENCE AND EDUCATION"

Контакт

els.education23@mail.ru

Наш сайт

irc-els.com