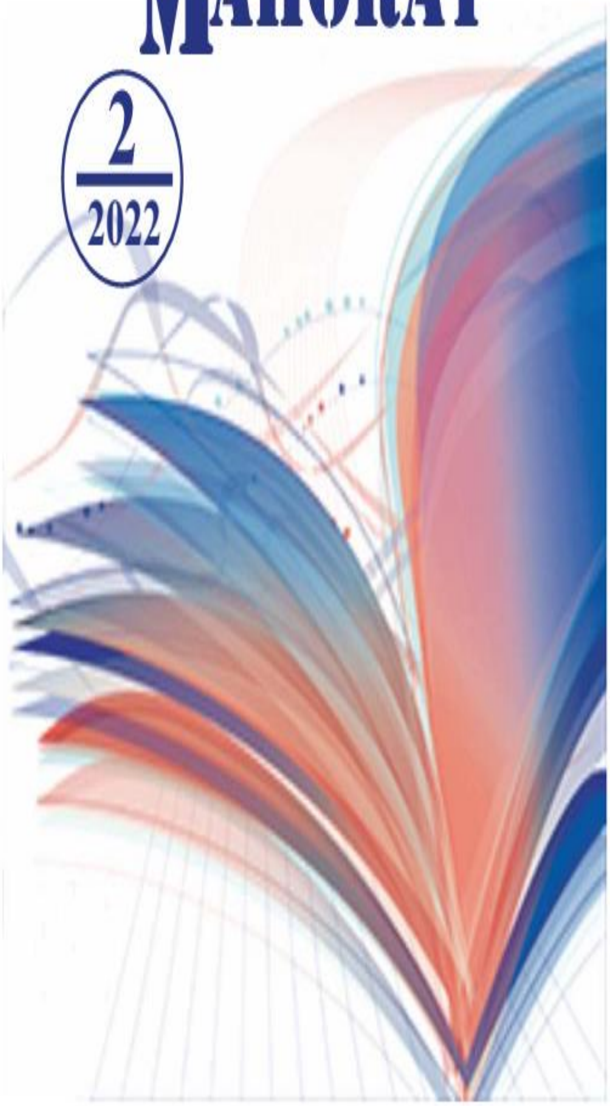
BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI

ISSN 2181-6833

PEDAGOGIK MAHORAT

2
2022



ISSN 2181-6833
9 772181 683301

ISSN 2181-6883

PEDAGOGIK MAHORAT

Ilmiy-nazariy va metodik jurnal

2-son (2022-yil, aprel)

Jurnal 2001-yildan chiqa boshlagan

Buxoro – 2022

PEDAGOGIK MAHORAT

Ilmiy-nazariy va metodik jurnal
2022, № 2

Jurnal O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi OAK Rayosatining 2016-yil 29-dekabrdagi qarori bilan **pedagogika** va **psixologiya** fanlari bo‘yicha dissertatsiya ishlari natijalari yuzasidan ilmiy maqolalar chop etilishi lozim bo‘lgan zaruriy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

Jurnal 2001-yilda tashkil etilgan.

Jurnal 1 yilda 6 marta chiqadi.

Jurnal O‘zbekiston matbuot va axborot agentligi Buxoro viloyat matbuot va axborot boshqarmasi tomonidan 2016-yil 22-fevral № 05-072-sonli guvohnoma bilan ro‘yxatga olingan.

Muassis: Buxoro davlat universiteti
Tahririyat manzili: O‘zbekiston Respublikasi,Buxoro shahri Muhammad Iqbol ko‘chasi, 11-uy
Elektron manzil: ped_mahorat@umail.uz

ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ МАСТЕРСТВО
Научно-теоретический и методический журнал
№ 2, 2022

Журнал включен в список обязательных выпусков ВАК при Кабинете Министров Республики Узбекистан на основании Решении ВАК от 29 декабря 2016 года для получения учёной степени по **педагогике** и **психологии**.

Журнал основан в 2001г.
Журнал выходит 6 раза в год
Журнал зарегистрирован Бухарским управлением агентства по печати и массовой коммуникации Узбекистана.
Свидетельство о регистрации средства массовой информации № 05-072 от 22 февраля 2016 г.
Учредитель: Бухарский государственный университет
Адрес редакции: Узбекистан, г. Бухара, ул. Мухаммад Икбол, 11.
e-mail: ped_mahorat@umail.uz

PEDAGOGICAL SKILLS

The scientific-theoretical andmethodical journal
№ 2, 2022

The journal is submitted to the list of the scientific journals applied to the scientific dissertations for **Pedagogic** and **Psychology** in accordance with the Decree of the Presidium of the Ministry of Legal office of Uzbekistan Republicon Regulation and Supervision of HAC (The Higher Attestation Commission) on December 29, 2016.

The journal is published 6 times a year
The journal is registered by Bukhara management agency for press and mass media in Uzbekistan.
The certificate of registration of mass media № 05-072 of 22 February 2016

Founder: Bukhara State University

Publish house: Uzbekistan, Bukhara, Muhammad Ikbol Str., 11.
e-mail: ped_mahorat@umail.uz

Shahlo MERAJOVA
Buxoro davlat universiteti
differensial tenglamalar kafedrasi katta o'qituvchisi

Nilufar SAIDOVA
Buxoro davlat universiteti
differensial tenglamalar kafedrasi o'qituvchisi

ARALASH MASALALARNI O'ZGARUVCHILARNI AJRATISH USULI BILAN YECHISH BO'YICHA BA'ZI METODIK TAVSIYALAR

Ushbu maqolada matematik fizika tenglamalariga qo'yilgan aralash masalalarni o'zgaruvchilarni ajratish usuli bilan yechish bo'yicha metodik tavsiyalar berilgan. Bir jinsli bo'lgan va bir jinsli bo'lmagan tenglamalarda aralash masalani yechishning o'ziga xos tomonlari ko'rsatilgan

Kalit so'zlar: *matematik fizikaning klassik tenglamalari, aossiy masalalarning qo'yilishi, aralash masala, o'zgaruvchilarni ajratish usuli, bir jinsli tenglama, bir jinsli bo'lmagan tenglama, Furye qatorlari, funksional qator yaqinlashishi.*

В статье даны методические рекомендации по решению смешанных задач для уравнений математической физики методом разделения переменных. Показаны особенности решения смешанной задачи для однородных и неоднородных уравнений.

Ключевые слова: *классические уравнения математической физики, основные задачи, смешанные задачи, метод разделения переменных, однородные уравнения, неоднородные уравнения, ряд Фурье, сходимость функциональных рядов.*

The article gives guidelines for solving mixed problems for equations of mathematical physics by the method of separation of variables. The features of the solution of the mixed problem for homogeneous and inhomogeneous equations are shown.

Key words: *classical equations of mathematical physics, basic problems, mixed problems, method of separation of variables, homogeneous equations, inhomogeneous equations, Fourier series, convergence of functional series.*

Kirish. O'zgaruvchilarni ajratish usuli boshqacha Furye usuli deb ham atalib, differensial tenglamalarga qo'yilgan chegaraviy masalalarni yechishda keng qo'llaniladi. "Matematika", "Amaliy matematika va informatika", "Fizika" yo'nalishlari talabalariga ushbu usulni o'rgatishda nimalarga e'tibor berish kerak? Qanday o'rgatish kerak? Bu usulning mohiyati nimada? Usulning xususiyati? Bu savollarga javob berish kerak.

Dastlab, matematik fizika tenglamalariga qo'yiladigan asosiy masalalarni qaraymiz.

Jarayon sodir bo'layotgan soha $G \in R^n$ bo'lib, S uning chegarasi bo'lsin. S ni bo'laklari silliq sirt hisoblaymiz [1].

Differensial tenglamalar uchun, asosan, 3 tipdagi masalalar bir biridan farq qiladi.

A. Koshi masalasi. Bu masala, asosan giperbolik va parabolik tipdagi tenglamalar uchun qo'yiladi; G soha butun R^n fazo bilan ustma-ust tushadi, bu holda chegaraviy shartlar bo'lmaydi.

B. Chegaraviy masala elliptik tipdagi tenglamalar uchun qo'yiladi; S da chegaraviy shartlar beriladi, boshlang'ich shartlar tabiiy bo'lmaydi.

D. Aralash masala giperbolik va parabolik tipdagi tenglamalar uchun qo'yiladi; $G \neq R^n$ bo'lib, boshlang'ich va chegaraviy shartlar beriladi.

Biz ushbu maqolada aralash masalalarning qo'yilishi va yechish usuliga to'xtalamiz.

Asosiy qism. Chegaraviy masalalar, asosan, chegarada berilgan shartlarga qarab farqlanadi. Oddiylik uchun biz bir o'lchovli holda aralash masalalarni mos boshlang'ich shartlar bilan ko'rib chiqamiz. Masala boshlang'ich va chegaraviy shartlar birgalikda qaralgan holda aralash masala ham deb yuritiladi, aralash masala turi chegaraviy shartga qarab farqlanadi. Matematik fizikaning ko'pgina chiziqli masalalari o'zgaruvchilarni ajratish usuli bilan hal qilinadi.

Dastlab bir jinsli tenglama uchun qo'yilgan aralash masalani o'zgaruvchilarni ajratish usuliga bilan yechish masalasiga to'xtalamiz.

Uchlari $x=0$ va $x=l$ nuqtalarda mahkamlangan tor tebtanishi tenglamasi masalasi uchun Furye yoki o'zgaruvchilarni ajratish usulini bayon qilamiz. Bu masala quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad , \tag{1}$$

boshlang‘ich shartlar:

$$u|_{t=0} = \varphi(x),\ u_t|_{t=0} = \psi(x), \tag{2}$$

chegaraviy shartlar:

$$u|_{x=0} = 0,\ u|_{x=l} = 0\,. \tag{3}$$

O‘zgaruvchilarni ajratish usulida tenglamaning xususiy yechimlarini quyidagi ko‘rinishda qidiramiz:

$$u(x,t) = X(x)T(t)\,, \tag{4}$$

bu funksiylar aynan nolga teng emas va (3) chegaraviy shartlarni qanoatlantirsin.

Demak, biz quyidagi oddiy differensial tenglamalarga kelamiz:

$$T''(t) + a^2\lambda T(t) = 0\,, \tag{5}$$

$$X''(x) + \lambda X(x) = 0\,, \tag{6}$$

bu yerda $\lambda > 0$, $\lambda = const$.

Shunday qilib, chegaraviy shartlar quyidagicha bo‘ladi:

$$X(0) = 0, \quad X(l) = 0\,. \tag{7}$$

Natijada biz (6)-(7) Shturm-Liuvill masalasi hosil bo‘ladi.

Har bir chegaraviy masala uchun o‘ziga xos Shutrm-Liuvill masalasi hosil bo‘ladi. Shunga e’tibor qaratish kerak!

Bu masalaning xos sonlari:

$$\lambda_k = \left(\frac{\pi k}{l}\right)^2 \quad k = 1,2,...$$

va bu xos sonlarga quyidagi xos funksiyalar mos keladi:

$$X_k(x) = \sin\frac{\pi k x}{l}\,.$$

$\lambda = \lambda_k$ bo‘lganda (5) tenglama quyidagi umumiy yechimga ega:

$$T_k(t) = a_k \cos\frac{k\pi a t}{l} + b_k \sin\frac{k\pi a t}{l}\,,$$

shuning uchun

$$u_k(x,t) = X_k(x)T_k(t) = \left(a_k \cos\frac{k\pi a t}{l} + b_k \sin\frac{k\pi a t}{l}\right)\sin\frac{k\pi x}{l}$$

funksiya har qanday a_k va b_k uchun (1) masalani va (3) chegaraviy shartlarni qanoatlantiradi.

(2)-(3) shartlarni qanoatlantiruvchi (1) masalaning yechimini qator ko‘rinishida qidiramiz:

$$u(x,t) = \sum_{k=1}^{\infty} u_k(x,t) = \sum_{k=1}^{\infty}\left(a_k \cos\frac{k\pi a t}{l} + b_k \sin\frac{k\pi a t}{l}\right)\sin\frac{k\pi x}{l}\,. \tag{8}$$

Agar bu qator tekis yaqinlashuvchi bo‘lib, uni hadma-had ikki marta differensiallash mumkin bo‘lsa, u vaqtda qator yig‘indisi (1) tenglamani va (3) chegaraviy shartlarni qanoatlantiradi.

Differensial tenglamalar kursida quyidagi teorema isbotlanadi:

Teorema [2]. Agar u_k ($k = 1,2,...,n,...$) funksiyalar chiziqli va bir jinsli $L(u) = 0$ (oddiy differensial tenglama yoki xususiy hosilali differensial tenglama) tenglamaning xususiy yechimlari bo‘lsa, u holda $u = \sum_{k=1}^{\infty} C_k u_k$ qator ham berilgan tenglamaning yechimi bo‘ladi, agar tenglamada qatnashadigan hosilalarni, qatorni hadma-had differensiallash yo‘li bilan hisoblash mumkin bo‘lsa.

Hadma-had differensiallash imkonini, qator va uni differensiallash natijasida hosil qilingan qatorlarning tekis yaqinlashishi beradi.

Faraz qilamiz (8) qatorni hadma-had differensiallash mumkin. U vaqtda a_k va b_k doimiy koeffisiyentlarni shunday aniqlaymizki (8) qator yig‘indisi (2) boshlang‘ich shartlarni qanoatlantirsin, natijada quyidagi tengliklarga kelamiz:

$$\varphi(x) = \sum_{k=1}^{\infty} a_k \sin\frac{k\pi x}{l} \quad , \tag{9}$$

$$\psi(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{k\pi a}{l} b_k \sin\frac{k\pi x}{l} \quad . \tag{10}$$

(9) va (10) formulalar $\varphi(x)$ va $\psi(x)$ funksiyalarning $(0,l)$ intervalda sinuslar bo'yicha Furye yoyilmasini beradi. Bu yoyilmalarning koeffisiyentlari quyidagi formulalar bilan topiladi:

$$a_k = \frac{2}{l}\int_0^l \varphi(x) sin\frac{k\pi x}{l}dx,$$

$$b_k = \frac{2}{k\pi a}\int_0^l \psi(x) sin\frac{k\pi x}{l}dx,$$

ya'ni, $a_k = \varphi_k, b_k = \frac{l}{k\pi a}\psi_k$, ular yordamida (8) formula bilan aniqlangan funksiya masalaning yechimini to'liq beradi.

(8) qatorning umumiy hadi uchun quyidagi tengsizlik o'rinli:

$$|u_k(x,t)| \le |a_k| + |b_k|.$$

Quyidagi sonli qator

$$\sum_{k=1}^{\infty}(|a_k| + |b_k|)$$

(8) funksional qator uchun mojaranta qator bo'ladi. Agar mojaranta qator yaqinlashsa, (8) funksional qator tekis yaqinlashadi va uning yig'indisi uzluksiz funksiya.

(8) qatordan t va x o'zgaruvchilar bo'yicha ikki marta differensiallash natijasida olingan qatorlar quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \sum_{k=1}^{\infty}\frac{\partial^2 u_k}{\partial t^2} = -\frac{\pi a}{l}\sum_{k=1}^{\infty}k^2\left(a_k\cos\frac{k\pi at}{l} + b_k\sin\frac{k\pi at}{l}\right)\sin\frac{k\pi x}{l},$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \sum_{k=1}^{\infty}\frac{\partial^2 u_k}{\partial x^2} = -\frac{\pi}{l}\sum_{k=1}^{\infty}k^2\left(a_k\cos\frac{k\pi at}{l} + b_k\sin\frac{k\pi at}{l}\right)\sin\frac{k\pi x}{l}.$$

Ushbu qatorlar uchun quyidagi sonli qator mojaranta qatorlar bo'ladi:

$$\sum_{k=1}^{\infty}k^2(|a_k| + |b_k|).$$

Boshlang'ich berilgan funksiylar quyidagi shartlarni qanoatlantirsa (8) qator va uni differensiallash natijasida hosil bo'lgan qatorlar tekis yaqinlashuvchi bo'ladi:

1) $\varphi(x)$ funksiyadan 2-tartibgacha olingan hosilalar uzluksiz, 3-tartibli hosilasi bo'lakli-uzluksiz bo'lib, quyidagi shart bajarilsa:

$$\varphi(0) = \varphi(l) = 0;\quad \varphi''(0) = \varphi''(l) = 0.$$

2) $\psi(x)$ funksiya uzluksiz differensiallanuvchi, 2-tartibli hosilasi bo'lakli-uzluksiz bo'lib, quyidagi shart bajarilsa:

$$\varphi(0) = \varphi(l) = 0.$$

Biz (1)-(3) aralash masalani yechish usulini to'liq tahlil qildik.

Muhokamalar va natijalar. Endi bir jinsli bo'lmagan hol uchun o'zgaruvchilarni ajratish usulini parabolik tenglamalarga qo'yilgan aralash masala misolida qaraymiz. Quyidagi

$$\begin{cases} u_t = a^2 u_{xx} + f(x,t) & (0 < x < l,\ t > 0) \\ u(x,0) = \varphi(x) & 0 < x < l \\ u(0,t) = \mu_1(t),\ u(l,t) = \mu_2(t) & t > 0 \end{cases}$$

aralash masalani yechish talab qilinsin.

Dastlab, quyidagi bir jinsli tenglamani bir jinsli chegaraviy shartlar bilan yechamiz:

$$\begin{cases} u_t = a^2 u_{xx} & 0 < x < l,\ 0 < t \le T \\ u(x,0) = \varphi(x) & 0 < x < l, \\ u(0,t) = 0,\ u(l,t) = 0 \end{cases} \tag{I}$$

Yuqoridagi kabi yechimni o'zgaruvchilarni ajratish usuli bilan yechamiz. $X(x)$ topish uchun biz Shturm -Liuvill masalasini hosil qilamiz:

$$X'' + \lambda X = 0,\ X(0) = X(l) = 0.$$

Bundan $\lambda_n = \left(\frac{\pi n}{l}\right)^2$ $(n = 1,2,...)$. λ xos sonlarga mos xos funksiylar: $X_n(x) = \sin\frac{\pi n}{l}x$.

$T(t)$ funksiya uchun tenglamani yechib, $T_n(t) = C_n e^{-a^2\lambda_n t}$.

Bir jinsli tenglamaga qo‘yilgan masala xususiy yechimlari:

$$u_n(x,t)=X_n(x)T_n(t)=C_n e^{-a^2\lambda_n t}\sin\frac{\pi n}{l}x$$

Superpozitsiya prinsipiga asosan xususiy yechimlarning yig‘indisi masala yechimi:

$$u(x,t)=\sum_{n=1}^{\infty}u_n(x,t)=\sum_{n=1}^{\infty}C_n e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 t}\sin\frac{\pi n}{l}x. \tag{11}$$

$u(x,t)$ funksiya chegaraviy shartlarni qanoatlantiradi. Boshlang‘ich shartni ham qanoatlantirishini talab etamiz: $\varphi(x)=u(x,0)=\sum_{n=1}^{\infty}C_n\sin\frac{\pi n}{l}x$.

ya’ni C_n - $\varphi(x)$ funksiya Furye koeffitsiyentlari

$$C_n=\varphi_n=\frac{2}{l}\int_0^l\varphi(\xi)\sin\frac{\pi n}{l}\xi d\xi \quad . \tag{12}$$

Endi koeffisiyentlari (12) formula bilan aniqlanadigan (11) qatorni qaraymiz va bu qator (I) masalaning barcha shartlarini qanoatlantirishini qo‘rsatamiz.

Buning uchun (11) qator bilan aniqlanuvchi $u(x,t)$ funksiya differensiallanuvchi bo‘lib, tenglamani $0<x<l,\ \ t>0$ sohada qanoatlantirishini va bu sohaning chegaralarida ($t=0,\ x=0,\ x=l$) uzluksiz bo‘lishini ko‘rsatishimiz kerak.

Tenglama chiziqli bo‘lgani uchun superpozitsiya prinsipiga asosan xususiy yechimlardan iborat qator ham yechim bo‘ladi, agar u yaqinlashuvchi bo‘lsa, uni x bo‘yicha ikki marta, t bo‘yicha bir marta differensiallash mumkin. $t\geq\bar{t}>0$ ($\bar{t}$ - ixtiyoriy yordamchi berilgan son) da xususiy hosilalarning $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\partial u_n}{\partial t}$ va $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\partial^2 u_n}{\partial x^2}$ qatorlari ham tekis yaqinlashadi.

Haqiqatan [2],

$$\left|\frac{\partial u_n}{\partial t}\right|=\left|-C_n\left(\frac{\pi}{l}\right)^2 a^2 n^2 e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 t}\sin\frac{\pi n}{l}x\right|<\left|C_n\right|\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 t}.$$

Faraz qilamiz, $\varphi(x)$ funksiya chegaralangan bo‘lsin, ya’ni $|\varphi(x)|\leq M$.

U holda

$$|C_n|=\left|\frac{2}{l}\right|\left|\int_0^l\varphi(\xi)\sin\frac{\pi n}{l}\xi d\xi\right|<\frac{2}{l}\int_0^l Md\xi=\frac{2}{l}\cdot M\cdot l=2M; \text{ chunki } \left|\sin\frac{\pi n}{l}\xi\right|\leq 1.$$

U vaqtda $\left|\frac{\partial u_n}{\partial t}\right|<2M\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2\bar{t}}$, $t\geq\bar{t}$ uchun. Shunga o‘xshash: $\left|\frac{\partial^2 u_n}{\partial x^2}\right|<2M\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2\bar{t}}$, $t\geq\bar{t}$ uchun. Umuman: $\left|\frac{\partial^{k+l}u_n}{\partial t^k x^l}\right|<2M\left(\frac{\pi n}{l}\right)^{2k+l} a^{2k} e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 t}$, $t\geq\bar{t}$ uchun.

$\sum_{n=1}^{\infty}\alpha_n$ - majoranta qatorning yaqinlashishini tekshiramiz, $\alpha_n=Nn^q e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2\bar{t}}$. Dalamber alomatiga asosan:

$$\lim_{n\to\infty}\left|\frac{\alpha_{n+1}}{\alpha_n}\right|=\lim_{n\to\infty}\left|\frac{N(n+1)^q e^{-\left(\frac{\pi}{l}\right)^2(n+1)^2 a^2\bar{t}}}{Nn^q e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2\bar{t}}}\right|=\lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{1}{\mathrm{n}}\right)^{\mathrm{q}} e^{-\left(\frac{\pi}{l}\right)^2(2n+1)a^2\bar{t}}=\frac{1}{\infty}=0.$$

Bundan (11) qatorni $t\geq\bar{t}>0$ sohada hadma-had differensiallash mumkin degan xulosa chiqadi. Superpozitsiya prinsipidan foydalanib, bu qator issiqlik o‘tkazuvchalik tenglamasini qanoatlantirishini isbotlash mumkin. Shu bilan $t>0$da (11) qator yetarlihca marta differensiallanuvchi va tenglamani qanoatlantiradi.

Endi bir jinsli bo‘lmagan issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasini nol boshlang‘ich va nol chegaraviy shartlar bilan qarab chiqaylik:

$$\begin{cases} u_t = a^2 u_{xx} + f(x,t) & (0 < x < l,\ t > 0) \\ u(x,0) = 0 \\ u(0,t) = 0,\ u(l,t) = 0 \end{cases} \tag{II}$$

Bu masalaning $u(x,t)$ yechimini xos funksiyalarning, ya’ni $\left\{\sin\frac{\pi n}{l}x\right\}$ funksiyalarning Furye qatori ko‘rinishida qidiramiz:

$$u(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_n(t)\sin\frac{\pi n}{l}x \cdot \tag{13}$$

Agar $u_n(t)$ funksiya topilsa, berilgan masala yechilgan bo‘ladi. $f(x,t)$ funksiyani ham xos funksiyalar bo‘yicha qatorga yoyamiz:

$$f(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t)\sin\frac{\pi n}{l}x, \tag{14}$$

bu yerda $f_n(t) = \frac{2}{l}\int_0^l f(\xi,t)\sin\frac{\pi n}{l}\xi d\xi \cdot$

(13) va(14) ni etib (II) ga qo‘yamiz: $\sum_{n=1}^{\infty}\sin\frac{\pi n}{l}x\left\{\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 u_n(t) + u'_n(t) - f_n(t)\right\} = 0.$

Yoyilmadagi barcha koeffisiyentlar nolga teng bo‘lsa, bu tenglik o‘rinli bo‘ladi: $u'_n(t) = -\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 u_n(t) + f_n(t) \cdot$

$u(x,t)$ funksiya uchun boshlang‘ich shartdan foydalanib, $u_n(t)$ funksiya uchun boshlang‘ich shartni olamiz: $u_n(0) = 0$.

Natijada oddiy differensial tenglamaga qo‘yilgan Koshi masalasini hal qilamiz, uning yechimi:

$$u_n(t) = \int_0^t e^{-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 (t-\tau)} f_n(\tau)d\tau \cdot$$

Ushbu funksiyani (13) ga etib qo‘yib (II) masalaning yechimini hosil qilamiz.

Xulosa qilib shuni aytishimiz mumkinki, bu usuldan nafaqat parabolik, elliptik va aralash tipdagi differensial tenglamalarga qo‘yilgan chegaraviy masalalarni, balki klassik va chiziqli bo‘lmagan tenglamalarga qo‘yilgan to‘g‘ri va teskari masalalarni yechishda ham foydalanish mumkin [3, 4].

Adabiyotalar

1. Saloxiddinov M.S. Matematik fizika tenglamalari. –Toshkent: “O‘zbekiston”, 2002.
2. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. -М.: Изд-во МГУ. 2004.
3. Меражова Ш.Б. Понятие прямой и обратной задачи в математической физике. “Pedagogik mahorat” maxsus son (2020, iyun).
4. Merajova Sh.B., Mardonova F.Ya. Xususiy hosilali differensial tenglamalar” fanini interfaol usullardan foydalanib o‘qitish samarasi haqida. “Pedagogik mahorat” 2019-yil. 5-son, 131-133b.