

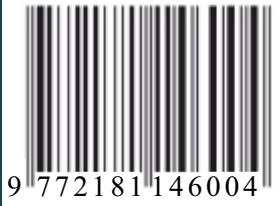


BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI ILMIY AXBOROTI

Научный вестник Бухарского государственного университета
Scientific reports of Bukhara State University

4/2023

E-ISSN 2181-1466

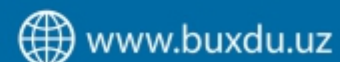
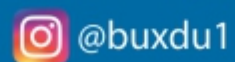
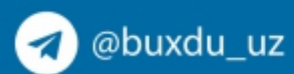


9 772181 146004

ISSN 2181-6875

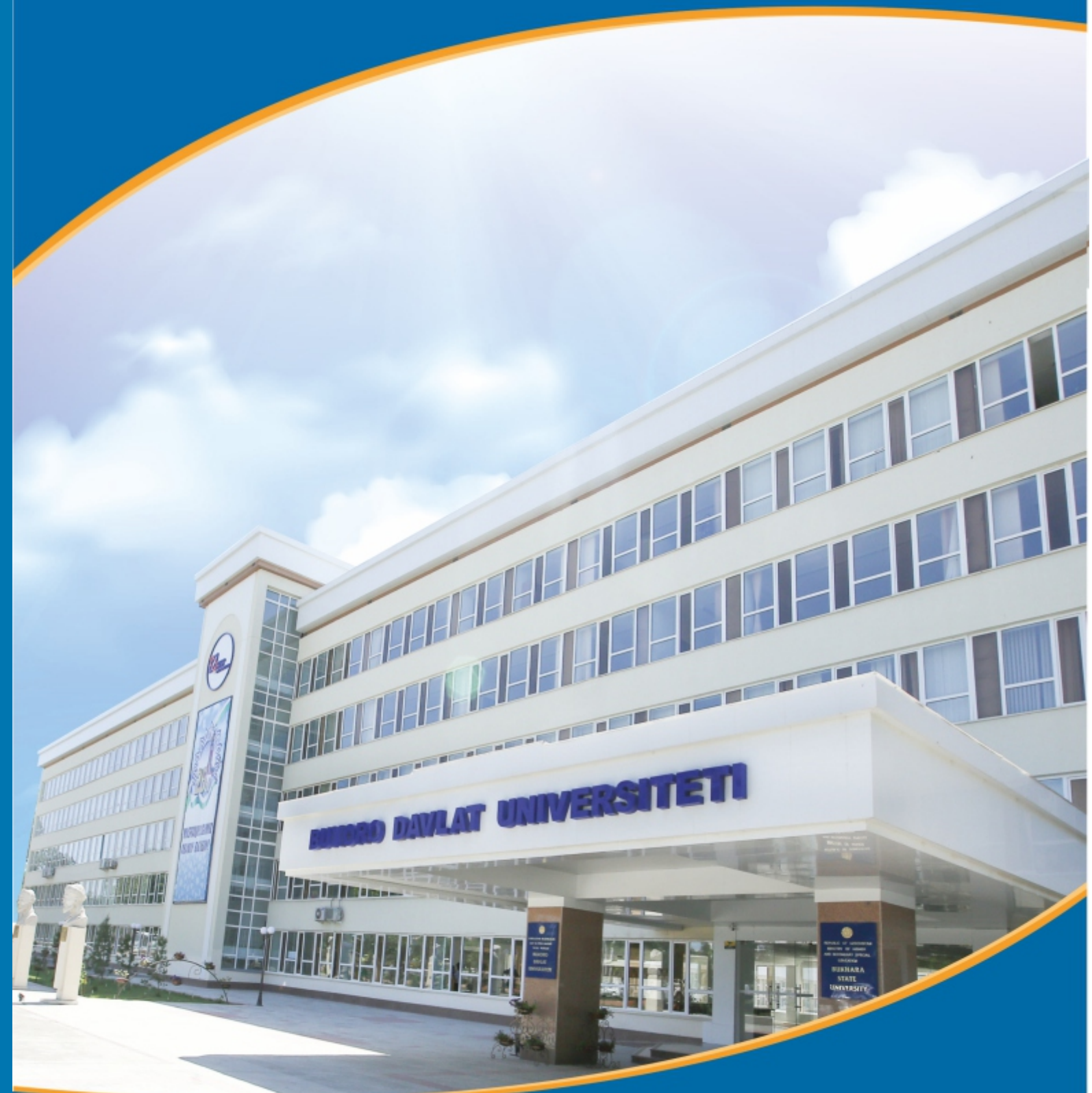


9 772181 687004



4/2023

<https://buxdu.uz>



BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI ILMIY AXBOROTI
SCIENTIFIC REPORTS OF BUKHARA STATE UNIVERSITY
НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК БУХАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Ilmiy-nazariy jurnal
2023, № 4, may

Jurnal 2003-yildan boshlab **filologiya** fanlari bo'yicha, 2015-yildan boshlab **fizika-matematika** fanlari bo'yicha, 2018-yildan boshlab **siyosiy** fanlar bo'yicha O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiya ishlari natijalari yuzasidan ilmiy maqolalar chop etilishi lozim bo'lgan zaruriy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Jurnal 2000-yilda tashkil etilgan.
Jurnal 1 yilda 12 marta chiqadi.

Jurnal O'zbekiston matbuot va axborot agentligi Buxoro viloyat matbuot va axborot boshqarmasi tomonidan 2020-yil 24-avgust № 1103-sonli guvoohnoma bilan ro'yxatga olingan.

Muassis: Buxoro davlat universiteti

Tahririyat manzili: 200117, O'zbekiston Respublikasi, Buxoro shahri Muhammad Iqbol ko'chasi, 11-uy.
Elektron manzil: nashriyot_buxdu@buxdu.uz

TAHRIR HAY'ATI:

Bosh muharrir: Xamidov Obidjon Xafizovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bosh muharrir o'rinbosari: Rasulov To'liqin Husenovich, fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor

Mas'ul kotib: Shirinova Mexrigiyo Shokirovna, filologiya fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Kuzmichev Nikolay Dmitriyevich, fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor (N.P. Ogaryov nomidagi Mordova milliy tadqiqot davlat universiteti, Rossiya)

Danova M., filologiya fanlari doktori, professor (Bolgariya)

Margianti S.E., iqtisodiyot fanlari doktori, professor (Indoneziya)

Minin V.V., kimyo fanlari doktori (Rossiya)

Tashqarayev R.A., texnika fanlari doktori (Qozog'iston)

Mo'minov M.E., fizika-matematika fanlari nomzodi (Malayziya)

Adizov Baxtiyor Rahmonovich, pedagogika fanlari doktori, professor

Abuzalova Mexriniso Kadirovna, filologiya fanlari doktori, professor

Amonov Muxtor Raxmatovich, texnika fanlari doktori, professor

Barotov Sharif Ramazonovich, psixologiya fanlari doktori, professor, xalqaro psixologiya fanlari akademiyasining haqiqiy a'zosi (akademigi)

Baqoyeva Muhabbat Qayumovna, filologiya fanlari doktori, professor

Bo'riyev Sulaymon Bo'riyevich, biologiya fanlari doktori, professor

Djurayev Davron Raxmonovich, fizika-matematika fanlari doktori, professor

Durdiyev Durdimurod Qalandarovich, fizika-matematika fanlari doktori, professor

Olimov Shirinboy Sharofovich, pedagogika fanlari doktori, professor

Qahhorov Siddiq Qahhorovich, pedagogika fanlari doktori, professor

Umarov Baqo Bafoevich, kimyo fanlari doktori, professor

Murodov G'ayrat Nekovich, filologiya fanlari doktori, professor

O'rayeva Darmonoy Saidjonovna, filologiya fanlari doktori, professor

Navro'z-zoda Baxtiyor Nigmatovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Hayitov Shodmon Ahmadovich, tarix fanlari doktori, professor

To'rayev Halim Hojiyevich, tarix fanlari doktori, professor

Rasulov Baxtiyor Mamajonovich, tarix fanlari doktori, professor (Andijon davlat Pedagogika instituti rektori)

Eshtayev Alisher Abdug'aniyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Boboyev Feruz Sayfullayevich, tarix fanlari doktori (O'ZR FA tarix instituti yetakchi ilmiy xodimi)

Jo'rayev Narzulla Qosimovich, siyosiy fanlar doktori, professor

Qurbonova Gulnoz Negmatovna, pedagogika fanlari doktori (DSc), professor

Jumayev Rustam G'aniyevich, siyosiy fanlar nomzodi, dotsent

Quvvatova Dilrabo Habibovna, filologiya fanlari doktori, professor

Axmedova Shoira Nematovna, filologiya fanlari doktori, professor

Amonova Zilola Qodirovna, filologiya fanlari doktori (DSc), dotsent

Zaripov Gulmurot Toxirovich, texnika fanlari nomzodi, dotsent

MUNDARIJA *** СОДЕРЖАНИЕ *** CONTENTS

ANIQ VA TABIIY FANLAR *** EXACT AND NATURAL SCIENCES ***
ТОЧНЫЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Rahmonova Ch.F., Niyozova Sh.A., Zokirov B.U., Ashirov O.N., Hasanov Sh.Sh., Abduraxmanov J.M.	Mahalliy sharoitlarda an'anaviy usullarda tayyorlangan sut-qatiq mahsulotlarini mikrobiologik tadqiq qilish	4
Imomova Sh.M., Rahmonqulova Z.B.	Funksiyalarni Mathcad muhitida sonli integrallash	9
Jumaev J.J., Atoev D.D.	Investigation of the integro-differential equation of parabolic type with nonlocal condition	15
Muxtarov Y., Xudoyberdiyev S.S.	Chiziqli bir jinsli tenglamalarni yechishda darajali qatorlarni qo'llash	20
Nuriddinov J.Z., Xasanova M.A., Qarshiboyeva Sh.Q.	O'zgaruvchan koeffitsiyentli parabolik tipdagi integro-differensial tenglama yadrosining yagonaligi to'g'risida	24
Muxtarov Y., O'roqov N.O'., Primov T.I.	Chiziqli differensial tenglamalarni yechishda operator usulini qo'llash	33
Quldoshova M.J., Rahmonov E.S.	Iqtisodiy jarayonlarning eng sodda matematik modellarini axborot texnologiyalarini qo'llash orqali tuzish	37
Rahmatov S.E., Quronboyev D.D.	Issiqlik almashish jarayonini boshqarish masalasi	40
Rahmonov E.S., Jamolov Sh.J.	The cross section of recoil emission process of Ag(110) crystal	44
Tolipov N.I.	Birinchi skalyar ko'paytmaga ko'ra ortogonal aks ettirishlar $O(1, Y)$ gruppasi	50
Мухаммадиева Д.К., Муродиллоева З.Х.	Doira tashqarisida to'rtinchi tartibli elliptik tipdagi differensial tenglama uchun qo'yilgan ichki - chegaraviy masala	54
Tursunov A.R., Axmedov A.A., Toshboboyev Sh.M.	Применение свёрточных нейронных сетей для диагностирования рака лёгких на ранних стадиях	61
Turapova A.U.	Yurqa plyonkalar strukturasi tahlil qilish	67
Дурдиев Д.К., Турдиев Х.Х., Тошев Д.А.	Ikki o'lchamli panjarada lokal bo'lmagan Shredinger operatorining xos qiymati uchun asimptotik yoyilmalar	72
Raximova S.M., Suvonova S.A.	Решение задачи типа Коши-Гурса для уравнения гиперболического типа	89
	Maydon tranzistoriga optik signallar ta'sirini o'rganish	96

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТИПА КОШИ-ГУРСА ДЛЯ УРАВНЕНИЯ
ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ТИПА**

Дурдиев Дурдимурод Қаландарович,
Институт математики имени В.И. Романовского
Академии наук Узбекистана, ул. Университетская,
4б, Ташкент 100174, Узбекистан.

ddurdiev@mathinst.uz

Турдиев Халим Хамроевич,
Бухарский государственный университет,
ул. М.Икбола, 11, Бухара 200114, Узбекистан
Бухарский государственный университет,
ул. М.Икбола, 11, Бухара 200114, Узбекистан

hturdiev@mail.ru

Тошев Дилшод Аваз ўғли,
Институт математики имени В.И. Романовского
Академии наук Узбекистана, ул. Университетская,
4б, Ташкент 100174, Узбекистан.

Бухарский государственный университет,
ул. М.Икбола, 11, Бухара 200114, Узбекистан

toshevdilshod1996@gmail.com

Аннотация: В данной работе рассматривается задача типа Коши-Гурса для гиперболического уравнения. Доказана корректность задачи типа Коши-Гурса для гиперболического уравнения. Уравнение этой задачи было проинтегрировано в области характеристического треугольника и сведено к интегральному уравнению типа Вольтерра второго рода, что эквивалентно задаче. Существование решения этого интегрального уравнения проверялось методом последовательных приближений (Пикара). Единственность этого решения доказана с использованием неравенства Гронуолы-Беллмана.

Ключевые слова: гиперболическое уравнение, принцип Дюамеля, неравенство Гронуолы - Беллмана, обратная задача, метод последовательных приближений.

GIPERBOLIK TENGLAMA UCHUN KOSHI-GURSA TIPIDAGI MASALANING YECHIMI

Annotatsiya: Ushbu ishda giperbolik tenglama uchun Koshi-Gursa tipidagi masala qaralgan. Giperbolik tenglama uchun Koshi-Gursa tipidagi masala korrekt ekanligi isbotlangan. Bunda masaladagi tenglamadan xarakteristik uchburchak sohasida integral olib, masalaga ekvivalent bo'lgan ikkinchi tur Volterra tipidagi integral tenglamaga keltirilgan. Bu integral tenglama yechimining mavjudligi qaralayotgan funksiyalar sinfida, ketma-ket yaqinlashish usuli (Pikar) yordamida isbotlangan. So'ngra Gronuola-Bellman tengsizligi yordamida yechimning yagonaligi isbotlangan

Kalit so'zlar: giperbolik tenglama, Dyamel prinsipi, Gronuola-Bellman tengsizligi, teskari masala, ketma-ket yaqinlashishlar usuli.

SOLUTION OF A CAUCHY-HOURS TYPE PROBLEM FOR A HYPERBOLIC EQUATION

Annotation: In this paper, we consider a Cauchy-Goursat type problem for a hyperbolic equation. The correctness of the problem of the Cauchy-Goursat type for a hyperbolic equation is proved. The equation of this problem was integrated in the region of the characteristic triangle and reduced to an integral equation of the Volterra type of the second kind, which is equivalent to the problem. The existence of a solution to this integral equation was verified by the method of successive approximations (Picard). The uniqueness of this solution is proved using the Gronwola-Bellman inequality.

Keywords: hyperbolic equation, Duhamel principle, Gronwola-Bellman inequality, inverse problem, method of successive approximations.

Методы. В работе используются метод аналитического решения дифференциального уравнения гиперболического типа, алгебраические методы и метод последовательных приближений.

Результат. В данной статье определяется решение дифференциального уравнения гиперболического типа с условиями поставленными на границе заданной области и на характеристической линии. Задача представлена в виде интегрального уравнения типа Вольтерра.

Обсуждение. Прямая задача представлена интегральным уравнением типа Вольтерра. Существование решения этого интегрального уравнения доказывается методом последовательных приближений, а его единственность - с помощью неравенства Гронуолы-Беллмана.

Заключение. Доказано, что решение дифференциального уравнения гиперболического типа существует и является единственным решением корректной задачи при условиях, наложенных на границу заданного поля и на характеристическую линию.

Введение

В математической литературе широко изучается 1-я проблема Дарбу и задача Коши-Гурсы. Исследования по этим вопросам широко изучены в книгах [1]-[4].

В книге А. В. Бицадзе "Уравнения смешанного типа" рассматривается задача нахождения решения дифференциального уравнения гиперболического типа, удовлетворяющего условиям $u(x, 0) = \tau(x), x \in [0, \infty)$; $u(x, -x) = \varphi(x), x \in [0, \infty)$.

Методы решения прямых и обратных задач, связанные с поиском решения начально-краевой задачи для уравнений парабола-гиперболического типа и неизвестной правой части (линейная задача) этого уравнения в прямоугольной области, были предложены в монографии [5] (см. также библиографию в ней). Среди работ по исследованию начально-краевых задач для уравнений парабола-гиперболического типа с нехарактеристической линией изменения типа $t = 0$ отметим работы [6]-[9], в которых исследовались задачи с локальными и нелокальными краевыми условиями.

В данной статье найдено решение дифференциального уравнения гиперболического типа, удовлетворяющее условиям $u(x, 0) = \varphi(x), x \in [0, T]$; $u(x, x) = \psi(x), x \in [0, \frac{T}{2}]$, заданным на границе области и на характеристической прямой. Задача представлена в виде интегрального уравнения типа Вольтерра. Существование решения этого интегрального уравнения доказывается методом последовательных приближений, а его единственность - с помощью неравенства Гронуолы-Беллмана.

К настоящему времени достаточно широко изучены задачи определения ядер из одного интегро-дифференциального уравнения второго порядка [10]-[19]. Численное решение прямых и обратных задач для таких уравнений исследовались в работах [20]-[24]. Как правило, уравнения второго порядка выводятся из систем уравнений в частных производных первого порядка при некоторых дополнительных предположениях.

Обратная задача определения ядер интегральных членов из гиперболической системы интегро-дифференциальных уравнений первого порядка общего вида с двумя независимыми переменными исследована в [25], а для системы интегродифференциальных уравнений Максвелла изучена в [26]. Получены теоремы локального существования и глобальной единственности решения.

Постановка задачи. В области $D := \{(x, y) \in R^2 \mid 0 \leq y \leq x \leq T - y\}$ (рис. 1) рассмотрим следующее уравнение:

$$u_{xx} - u_{yy} - p(x)u(x, y) = f(x, y), (x, y) \in D \quad (1)$$

(1) является дифференциальным уравнением гиперболического типа.

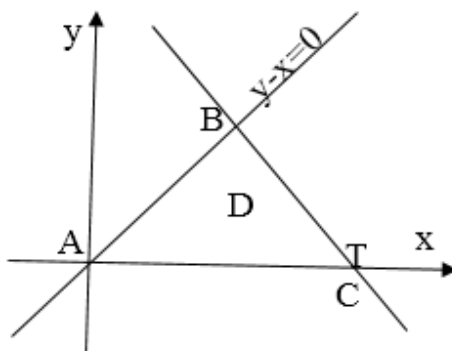


Рисунок 1. Характеристическая область.

Прямая задача. Найти в области D решение уравнения (1), удовлетворяющего следующим условиям:

$$u|_{AB} = \psi(x), \quad u|_{AC} = \varphi(x), \quad (2)$$

где $\psi(x)$ и $\varphi(x)$ заданные функции.

Определение. Решением задачи (1)-(2) назовём функцию $u(x, y)$ из класса $C^2(D)$, удовлетворяющую условиям (2) и обращающую уравнение (1) в тождество.

Теорема. Пусть $\varphi(x) \in C^2[0, T]$, $\psi(x) \in C^2\left[0, \frac{T}{2}\right]$, $f(x, y) \in C_x^1(D)$, $p(x) \in C^1[0, T]$ и выполнено условие согласованности $\psi(0) = \varphi(0)$. Тогда в области D существует единственное классическое решение задачи (1)-(2).

Доказательство. Мы переопределяем систему координат, используя замену $x = \xi, y = \tau$. Проведём линии, параллельные характеристическим линиям, проходящим через произвольную точку (x, y) площади D . Затем проводим линию, параллельную характеристике $y + x = c$, из точек их пересечения с осью абсцисс. Образуется прямоугольник (рис. 2).

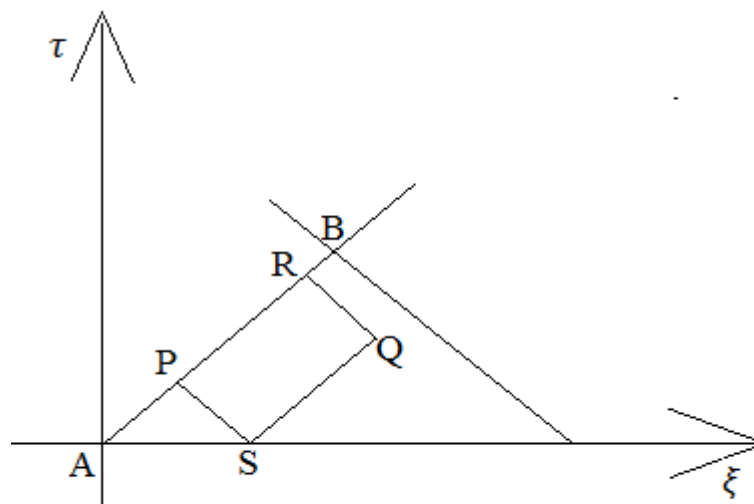


Рисунок 2. Поле интеграции.

Здесь $Q(x; y)$, $S(x - y; 0)$, $P\left(\frac{x-y}{2}; \frac{x-y}{2}\right)$, $R\left(\frac{x+y}{2}; \frac{x+y}{2}\right)$.

Мы придаём уравнению (1) вид $u_{xx} - u_{yy} = F(x, y)$ и проинтегрируем полученное уравнение по прямоугольному полю $PSQR$.

$$\begin{aligned} \iint_{PSQR} [u_{\xi\xi} - u_{\tau\tau}] d\xi d\tau &= \oint_{PSQR} u_{\xi} d\tau + u_{\tau} d\xi = -u \Big|_P^S + u \Big|_S^Q - u \Big|_Q^R + u \Big|_R^P = \\ &= 2u(Q) + 2u(P) - 2u(R) - 2u(S) = \iint_{PSQR} F(\xi, \tau) d\xi d\tau. \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} u(x, y) + u\left(\frac{x-y}{2}, \frac{x-y}{2}\right) - 2u\left(\frac{x+y}{2}, \frac{x+y}{2}\right) - \\ - 2u(x-y; 0) = \frac{1}{2} \iint_{PSQR} F(\xi, \tau) d\xi d\tau. \end{aligned}$$

Из этого получим:

$$\begin{aligned} u(x, y) = \varphi(x-y) + \psi\left(\frac{x+y}{2}\right) - \psi\left(\frac{x-y}{2}\right) + \\ + \frac{1}{2} \int_{\frac{x-y}{2}}^x \int_{|x-y-\xi|}^{\frac{x+y}{2}-|\frac{x+y}{2}-\xi|} [f(\xi, \tau) + p(\xi)u(\xi, \tau)] d\tau d\xi. \quad (4) \end{aligned}$$

Интегральное уравнение (4) эквивалентно задаче (1)-(2).

$$\text{Пусть } \varphi_0 := \max_{x \in [0, T]} \{|\varphi(x)|\}, \psi_0 := \max_{x \in [0, \frac{T}{2}]} \{|\psi(x)|\}, f_0 := \max_{(x, y) \in D} \{|f(x, y)|\}, p_0 := \max_{x \in [0, T]} \{|p(x)|\}.$$

Построим для уравнения (4) процесс последовательных приближений по схеме:

$$u_0(x, y) = \varphi\left(\frac{x-y}{2}\right) + \psi\left(\frac{x+y}{2}\right) - \psi\left(\frac{x-y}{2}\right) +$$

$$+ \frac{1}{2} \int_{\frac{x-y}{2}}^x \int_{|x-y-\xi|}^{\frac{x+y}{2}-|\frac{x+y}{2}-\xi|} f(\xi, \tau) d\tau d\xi,$$

$$u_k(x, y) = \frac{1}{2} \int_{\frac{x-y}{2}}^x \int_{|x-y-\xi|}^{\frac{x+y}{2}-|\frac{x+y}{2}-\xi|} [p(\xi)u(\xi, \tau)] d\tau d\xi, k = 1, 2, \dots$$

Очевидно, что каждая из функции $u_k(x, y)$ в области D непрерывна.

Покажем, что ряд

$$\sum_{k=0}^{\infty} u_k$$

сходится равномерно в области D .

Его частичная сумма совпадает с функцией $u_k(x, y)$ и, следовательно, этот ряд можорируется рядом:

$$|u_0| \leq \varphi_0 + 2\psi_0 + \frac{f_0}{2} \left\{ \int_{\frac{x-y}{2}}^{x-y} [2\xi - x + y] d\xi + \int_{x-y}^{\frac{x+y}{2}} [2\xi + x - y] d\xi + \right.$$

$$\left. + \int_{\frac{x+y}{2}}^x 2[x - \xi] d\xi \right\} \leq \varphi_0 + 2\psi_0 + \frac{f_0}{2} y(x - y) \leq \varphi_0 + 2\psi_0 + \frac{f_0 x^2}{2} \leq$$

$$\leq \varphi_0 + 2\psi_0 + \frac{f_0 T^2}{2} = A;$$

$$|u_1| \leq A \frac{p_0}{2} \left\{ \int_{\frac{x-y}{2}}^{x-y} [2\xi - x + y] d\xi + \int_{x-y}^{\frac{x+y}{2}} [2\xi + x - y] d\xi + \right.$$

$$\left. + \int_{\frac{x+y}{2}}^x 2[x - \xi] d\xi \right\} \leq A \frac{p_0 x^2}{2!};$$

$$|u_2| \leq A \left(\frac{p_0 T^2}{2} \right)^1 \left\{ \int_{\frac{x-y}{2}}^{x-y} \frac{\xi^2}{2!} [2\xi - x + y] d\xi + \int_{x-y}^{\frac{x+y}{2}} \frac{\xi^2}{2!} [2\xi + x - y] d\xi + \right.$$

$$\left. + \int_{\frac{x+y}{2}}^x \frac{\xi^2}{2!} 2[x - \xi] d\xi \right\} \leq A \left(\frac{p_0}{2} \right)^2 \frac{x^4}{4!};$$

$$|u_3| \leq A \left(\frac{p_0 T^2}{2} \right)^2 \left\{ \int_{\frac{x-y}{2}}^{x-y} \frac{\xi^4}{4!} [2\xi - x + y] d\xi + \int_{x-y}^{\frac{x+y}{2}} \frac{\xi^4}{4!} [2\xi + x - y] d\xi + \right.$$

$$\left. + \int_{\frac{x+y}{2}}^x \frac{\xi^4}{4!} 2[x - \xi] d\xi \right\} \leq A \left(\frac{p_0}{2} \right)^3 \frac{x^6}{6!};$$

.....

$$\begin{aligned}
 |u_k| &\leq A \left(\frac{p_0 T^2}{2}\right)^{k-1} \left\{ \int_{\frac{x-y}{2}}^{\frac{x+y}{2}} \frac{\xi^{2k-2}}{(2k-2)!} [2\xi - x + y] d\xi + \right. \\
 &+ \int_{x-y}^{\frac{x+y}{2}} \frac{\xi^{2k-2}}{(2k-2)!} [2\xi + x - y] d\xi + \left. \int_{\frac{x+y}{2}}^x \frac{\xi^{2k-2}}{(2k-2)!} 2[x - \xi] d\xi \right\} \leq \\
 &\leq A \left(\frac{p_0}{2}\right)^k \frac{x^{2k}}{(2k)!}. \tag{5}
 \end{aligned}$$

который, в свою очередь, для всех $(x, y) \in D$ мажорируется сходящимся числовым рядом

$$\sum_{k=0}^{\infty} A \left(\frac{p_0}{2}\right)^k \frac{T^{2k}}{(2k)!} \leq A \operatorname{ch} \left(\sqrt{\frac{p_0}{2}} T \right).$$

Итак, ряд

$$\sum_{k=0}^{\infty} u_k$$

сходится абсолютно и равномерно и, следовательно, его сумма является непрерывной функцией в области D . Как обычно, не трудно доказать, что сумма ряда является решением интегрального уравнения (4).

Теперь покажем единственность этого решения.

Единственность решения. Предположим, что имеются два различных решения уравнения (4) $v_1(x, y)$ и $v_2(x, y)$:

$$\begin{aligned}
 v_1(x, y) &= \varphi(x - y) + \psi\left(\frac{x + y}{2}\right) - \psi\left(\frac{x - y}{2}\right) + \\
 &+ \frac{1}{2} \int_{\frac{x-y}{2}}^x \int_{|x-y-\xi|}^{\frac{x+y}{2}-|\frac{x+y}{2}-\xi|} [f(\xi, \tau) + p(\xi)v_1(\xi, \tau)] d\tau d\xi, \\
 v_2(x, y) &= \varphi(x - y) + \psi\left(\frac{x + y}{2}\right) - \psi\left(\frac{x - y}{2}\right) + \\
 &+ \frac{1}{2} \int_{\frac{x-y}{2}}^x \int_{|x-y-\xi|}^{\frac{x+y}{2}-|\frac{x+y}{2}-\xi|} [f(\xi, \tau) + p(\xi)v_2(\xi, \tau)] d\tau d\xi.
 \end{aligned}$$

Тогда их разность

$$Z(x, y) = v_1(x, y) - v_2(x, y), \quad i = \overline{1, n}$$

удовлетворяет интегральному уравнению

$$Z(x, y) = \frac{1}{2} \int_{\frac{x-y}{2}}^x \int_{|x-y-\xi|}^{\frac{x+y}{2}-|\frac{x+y}{2}-\xi|} [p(\xi)Z(\xi, \tau)] d\tau d\xi. \tag{6}$$

Покажем, что интегральные уравнения (6) имеют только тривиальные решения. Доказательство этого факта можно провести с помощью следующего приёма:

Оценивая (6) по x в $[0, T]$ при фиксированном y , получим:

$$|Z(x, y)| \leq \frac{p_0}{2} \int_{\frac{x-y}{2}}^x \int_{|x-y-\xi|}^{\frac{x+y}{2}-|\frac{x+y}{2}-\xi|} |Z(\xi, \tau)| d\tau d\xi$$

Воспользуемся неравенством Гронуолы-Беллмана.

Неравенство Гронуоллы-Беллмана [27]: Если $y(x)$ и $F(x)$ неотрицательны при $x \geq 0$, то для $c \geq 0, M \geq 0$ из неравенства

$$y(x) \leq c + M \int_0^x F(t)y(t)dt,$$

следует, что

$$y(x) \leq ce^{M \int_0^x F(t)dt}.$$

Проведём обозначение:

$$y(x) = |Z(x, y)|, F(x) = 1, K = 0, M = \frac{p_0}{2}.$$

Отсюда, согласно интегральному неравенству Гронуоллы — Беллмана, имеем

$$|Z(x, y)| \leq 0.$$

Из этого следует $|Z(x, y)| = 0 \Rightarrow v_1(x, y) = v_2(x, y)$. А это противоречит нашему предположению, что решения $v_1(x, y), v_2(x, y)$ неодинаковы.

Таким образом, показано, что прямые задачи (1), (2) имеют единственное решение. Теорема 1.2.1 доказана.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бицадзе А. В. "Уравнения смешанного типа" М.: Изд-во АН СССР, 1959.
2. Бицадзе А. В. "Некоторые классы уравнений в частных производных" М.: Наука, 1981.
3. Смирнова М.М. "Вырождающиеся эллиптические и гиперболические уравнения" М.: Наука, 1966.
4. Смирнова. М.М. «Уравнения смешанного типа» М.: Наука, 1970.
5. Сабитов К.Б. Прямые и обратные задачи для уравнений смешанного параболического типа. Уфа, 2015.
6. Капустин Н.Ю. Об обобщённой разрешимости задачи Трикоми для параболического уравнения // Докл. АН СССР. 1984. Т. 274. № 6. С. 1294–1298.
7. Елеев В.А. Аналог задачи Трикоми для смешанных параболических уравнений с нехарактеристической линией изменения типа // Дифференц. уравнения. 1977. Т. 13. № 1. С. 56–63.
8. Елеев В.А. Обобщённая задача Трикоми для смешанных гиперболических уравнений // Дифференц. уравнения. 1979. Т. 15. № 1. С. 41–53.
9. Кальменов Т.Ш., Садыбеков М.А. О задаче типа Франкеля для уравнения смешанного параболического типа // Сиб. мат. журн. 2017. Т. 58. № 2. С. 298–304.
10. Дурдиев Д. К., Томиева Ж. Д. Задача об определении одномерного ядра уравнения вязкоупругости // Сиб. журн. индустр. матем. 2013. Т. 16. № 2. С. 72-82.
11. Janno J., Von Wolfersdorf L. Inverse problems for identification of memory kernels in viscoelasticity // Math. Methods Appl. Sci. 1997. V. 20. N 4. P. 291-314.
12. Дурдиев Д. К., Томиева Ж. Д. Задача об определении многомерного ядра уравнения вязкоупругости // Владикавк. матем. журн. 2015. Т. 17. № 4. С. 18-43.
13. Durdiev D. K. Some multidimensional inverse problems of memory determination in hyperbolic equations // Журн. матем. физ., анал., геом. 2007. V. 3. N 4. P. 411-423.
14. Дурдиев Д. К., Сафаров Ж. Ш. Обратная задача об определении одномерного ядра уравнения вязкоупругости в ограниченной области // Матем. заметки. 2015. Т. 97. N 6. С. 855-867.
15. Romanov V.G. On the determination of the coefficients in the viscoelasticity equations // Siberian Math. J. 2014. V. 55. № 3. P. 503-510.
16. Романов В. Г. Задача об определении ядра в уравнении вязкоупругости // Докл. АН. 2012. Т. 446, № 1. С. 18-20.
17. Дурдиев Д. К., Рахмонов А. А. Обратная задача для системы интегро-дифференциальных уравнений SH-волн в вязкоупругой пористой среде: глобальная разрешимость // ТМФ. 2018. Т. 195. № 3. С. 491-506.
18. Дурдиев Д. К., Рахмонов А. А. Задача об определении двумерного ядра в системе интегродифференциальных уравнений вязкоупругой пористой среды // Сиб. журн. индустр. матем. 2020. Т. 23. № 2. С. 63–80.

19. Durdiev D. K., Rahmonov A. A. A 2D kernel determination problem in a visco-elastic porous medium with a weakly horizontally inhomogeneity // *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. 2020. V. 43. N 15. P. 8776-8796.
20. Karchevsky A. L. A numerical solution to a system of elasticity equations for layered anisotropic media // *Russian Geology and Geophysics*. 2005. V. 46. N 3. P. 339-351.
21. Karchevsky A. L. The direct dynamical problem of seismics for horizontally stratified media // *Sib. Electron. Mat. Izv.* 2005. N 2. P. 23-61. Zbl 1125.86004.
22. Karchevsky A. L. Numerical reconstruction of medium parameters of member of thin anisotropic layers // *Inverse III-Posed Probl.* 2004. V. 12. N 5. P. 519-534. Zbl 1080.74035.
23. Durdiev U. D. Numerical method for determining the dependence of the dielectric permittivity on the frequency in the equation of electrodynamics with memory // *Sib. Electron. Mat. Izv.* 2020. V. 17, P. 179-189. (2020) DOI 10.33048/semi.2020.17.013.
24. Bozorov Z. R. Numerical determining a memory function of a horizontally-stratified elastic medium with aftereffect // *Eurasian journal of mathematical and computer applications*. 2020. V. 8. N 2. P. 4-16.
25. Дурдиев Д. К., Турдиев Х. Х., “Обратная задача для гиперболической системы первого порядка с памятью”, *Дифференциальные уравнения*, 56:12 (2020), 1666–1675.
26. Durdiev D. K., Turdiev Kh. Kh., “The problem of finding the kernels in the system of integro-differential Maxwell’s equations”, *Sib. Zh. Ind. Math.*, 24:2 (2021), 38–61.
27. Gronwall T.H. Note on the derivatives with respect to a parameter of the solutions of a system of differential equations. *An. Murh.* (2) 20 (1918-1919), 292-296.