



7universum.com
UNIVERSUM:
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

UNIVERSUM:
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

Выпуск: 10(79)

Октябрь 2020

Часть 1

Москва
2020

УДК 62/64+66/69

ББК 3

U55

Главный редактор:

Ахметов Сайранбек Махсутович, д-р техн. наук;

Заместитель главного редактора:

Ахмеднабиев Расул Магомедович, канд. техн. наук;

Члены редакционной коллегии:

Демин Анатолий Владимирович, д-р техн. наук;

Елисеев Дмитрий Викторович, канд. техн. наук;

Звездина Марина Юрьевна, д-р. физ.-мат. наук;

Ким Алексей Юрьевич, д-р техн. наук;

Козьминых Владислав Олегович, д-р хим. наук;

Ларионов Максим Викторович, д-р биол. наук;

Манасян Сергей Керопович, д-р техн. наук;

Мартышкин Алексей Иванович, канд. техн. наук;

Серегин Андрей Алексеевич, канд. техн. наук;

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

U55 Universum: технические науки: научный журнал. – № 10(79). Часть 1.
М., Изд. «МЦНО», 2020. – 96 с. – Электрон. версия печ. публ. –
<http://7universum.com/ru/tech/archive/category/1079>

ISSN : 2311-5122

DOI: 10.32743/UniTech.2020.79.10-1

Учредитель и издатель: ООО «МЦНО»

ББК 3

© ООО «МЦНО», 2020 г.

Содержание

Авиационная и ракетно-космическая техника	5
КРАТКИЙ ОБЗОР ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ В УЗБЕКИСТАНЕ Мирмахмудов Эркин Рахимжанович	5
Безопасность деятельности человека	11
КЛАССИФИКАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКОВ МЕТОДОМ ГАЗА ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ Каримкулов Курбонкул Мавланкулович Раджабова Лобар Рамазановна	11
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС В ПРОГНОЗИРОВАНИИ И МОНИТОРИНГЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ Салимова Барно Джамаловна Худайкулов Рашидбек Мансуржонович	19
Инженерная геометрия и компьютерная графика	22
ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ СМЕШАННОЙ ЗАДАЧИ, ПОСТАВЛЕННОЕ НА ВЕКТОРНОМ ВОЛНОВОМ УРАВНЕНИИ В ОБЛАСТИ С УГЛОМ Имомова Шафоат Махмудовна Исмоилова Махсума Нарзикуловна	22
ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ БАРАБАНОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЛЕЙ ВЫРАЩИВАНИЯ РИСА Каримхаджаев Назиржон Эркинов Икромжон Бахром угли Дадабоев Равшанбек Махамадали угли	26
Информатика, вычислительная техника и управление	30
АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ПОШАГОВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ Аблялимов Олег Сергеевич	30
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОШАГОВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ Аблялимов Олег Сергеевич	35
ЗАЩИТА ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ В СИСТЕМАХ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КРИПТОГРАФИИ И ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ Нуруллоев Фируз Нумонжонович	40
МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ ЛИНЕАМЕНТНЫХ СТРУКТУР ПО ОПТИЧЕСКИМ И РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ДАННЫМ: НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ КАШКАДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ (УЗБЕКИСТАН) Сычугова Лола Владимировна Фазилова Дилбархон Шамурадовна	43
ПРОБЛЕМЫ МАШИННОГО ПЕРЕВОДА ПРИ ПЕРЕВОДЕ НА УЗБЕКСКИЙ ЯЗЫК Тураева Гулбахор Халимовна	47
ОБРАБОТКА ДАННЫХ GPS В GAMIT/GLOBK: НА ПРИМЕРЕ ПОСТОЯННЫХ СТАНЦИЙ СЕТИ УЗБЕКИСТАНА Эргешов Ихтияр Маккамбаевич Махмудов Миршод Дилшодович Фазилова Дилбархон Шамурадовна	50
Машиностроение и машиноведение	56
ОБЗОРНЫЙ АНАЛИЗ СВАРОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ АВТОМОБИЛЕЙ Каримхаджаев Назиржон Эркинов Икромжон Бахром угли Вахобов Рустамжон Абдуманноб угли	56
Металлургия и материаловедение	61
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ НАГРЕВА ПРИ МИКРОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКЕ УПОРНОГО ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО КОНЦЕНТРАТА Фузайлов Омон Убайдуллоевич	61

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ СМЕШАННОЙ ЗАДАЧИ, ПОСТАВЛЕННОЕ НА ВЕКТОРНОМ ВОЛНОВОМ УРАВНЕНИИ В ОБЛАСТИ С УГЛОМ

Имомова Шафоат Махмудовна

*ст. преподаватель
Бухарского государственного университета,
Республика Узбекистан, г. Бухара*

Исмоилова Махсума Нарзикуловна

*ст. преподаватель
Бухарского государственного университета,
Республика Узбекистан, г. Бухара
E-mail: maxsuma.ismoilova@mail.ru*

NUMERICAL SOLUTION OF A MIXED PROBLEM, POSED ON A VECTOR WAVE EQUATION IN A DOMAIN WITH AN ANGLE

Shafoat Imomova

*Senior Lecturer,
Bukhara State University,
Uzbekistan, Bukhara*

Mahsuma Ismoilova

*Senior Lecturer,
Bukhara State University,
Uzbekistan, Bukhara*

АННОТАЦИЯ

Получена априорная оценка в пространстве Соболева решения смешанной задачи для векторного волнового уравнения в угловом пространстве. Получение априорной оценки основана на построении «диссипативного интеграла энергии». В данной статье построена разностная схема для численного решения смешанной задачи для волнового уравнения в области с углом, доказывается её устойчивость.

ABSTRACT

An a priori estimate in the Sobolev space of the solution of the mixed problem for the vector wave equation in angular space is obtained. Obtaining an a priori estimate is based on the construction of a “dissipative energy integral”. In the article a difference scheme for numerical solution of mixed problem for wave equation in wiz corner is constructed. The difference scheme stability is proved.

Ключевые слова: смешанная задача, матрица, разностная схема, устойчивость, комплекс, вектор, условия Лопатинский.

Keywords: mixed problem, matrix, difference scheme, stability, complex, vector, Lopatinskiy terms.

Математико-физические задачи очень обширны и неразрывно связаны с изучением различных физических, механических, биологических и других процессов. Математико-физические уравнения направлены на изучение трех классических: эллиптических, параболических, гиперболических классов. В тех случаях, когда аналитическое выражение решений математико-физических уравнений найти невозможно, приходится находить их числовые

решения. Для уравнения векторной волны в угловой области, относящейся к типу симметричных Т-гиперболических уравнений, программа численного решения смешанной задачи используется при изучении задач механики сплошных сред.

Рассмотрим следующую задачу:

Найти решение уравнение векторной волны

$$U_{tt} - U_{xx} - U_{yy} = 0 \quad (1)$$

в среде $R_+^3 = \{(t, x, y) \mid t, x, y > 0\}$

удовлетворяющее при $x = 0$

$$J_1 U_t - A_1 U_x - B_1 U_y = 0, \quad (t, y) \in R_+^2 \quad (2)$$

при $y = 0$

$$J_2 U_t - A_2 U_x - B_2 U_y = 0, \quad (t, x) \in R_+^2 \quad (3)$$

граничным условиям и

$$U = \Phi(x, y), \quad U_t = \psi(x, y), \quad t = 0, \quad (x, y) \in R_+^2 \quad (4)$$

начальным условиям.

Здесь $J_1, A_1, B_1, J_2, A_2, B_2$ n -размерные фиксированные комплексные матрицы. В монографии [1] получена априорная оценка решения этих задач. Оценка Априора основана на построении «диссипативного интеграла энергии». В задачах (1)–(4)

$t > 0, 0 < \theta < \frac{\pi}{2}, \xi \in R'$ полярные координаты $\xi, \theta (x = r \cos \theta, y = r \sin \theta, \xi = \ln r)$ проходят в области

$$\left\{ e^\xi A_0 \frac{\partial}{\partial t} - B_0 \frac{\partial}{\partial \theta} - C_0 \frac{\partial}{\partial \xi} + Q_0 \right\} V = 0, \quad t > 0, \quad (\theta, \xi) \in \Pi \quad (5)$$

$$J_1 V_1 + A_1 V_2 - B_1 V_3 = 0, \quad \theta = \frac{\pi}{2}, \quad t > 0, \quad \xi \in R' \quad (6)$$

$$J_2 V_1 - A_2 V_2 - B_2 V_3 = 0, \quad \theta = 0, \quad t > 0, \quad \xi \in R' \quad (7)$$

$$V = \left\{ e^\xi \tilde{\psi}(\theta, \xi), \tilde{\Phi}'_\xi(\theta, \xi) \right\}', \quad t = 0, \quad (\theta, \xi) \in \Pi \quad (8)$$

здесь

$$A_0 = \begin{pmatrix} K & L & M \\ L & K & iN \\ M & -iN & K \end{pmatrix}, \quad B_0 = \begin{pmatrix} L & K & iN \\ K & L & M \\ -iN & M & -L \end{pmatrix},$$

$$C_0 = \begin{pmatrix} M & -iN & K \\ iN & -M & L \\ K & L & M \end{pmatrix}$$

$$Q_0 = \begin{pmatrix} M & 0 & 0 \\ iN & 0 & 0 \\ K & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad V = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^\xi U_t \\ U_\theta \\ U_\xi \end{pmatrix},$$

K, L, M, N – эрмитовы матрицы, которые их любые элементы связаны с θ .

Построим параметрическую разностную схему, аппроксимирующую смешанную задачу (5)–(8).

Для этого произведём замену $V = e^{\frac{1}{2}\xi} Y$ в системе (5) и напишем в следующей форме:

$$e^\xi A_0 \frac{\partial Y}{\partial t} - \frac{\partial [B_0 Y]}{\partial \theta} - C_0 \frac{\partial Y}{\partial \xi} + \left[Q_0 - \frac{1}{2} C_0 + \frac{d}{d\theta} B_0 \right] Y = 0 \quad (9)$$

$$e^\xi A_0 \frac{\partial Y}{\partial t} - B_0 \frac{\partial Y}{\partial \theta} - C_0 \frac{\partial Y}{\partial \xi} + \left[Q_0 - \frac{1}{2} C_0 \right] Y = 0 \quad (10)$$

Умножаем системы (9)–(10) на матрицу $D = \text{diag}(y_1, y_2, y_3)$ слева. Сложим полученные системы и формируем систему:

$$2e^\xi D A_0 \frac{\partial Y}{\partial t} - D \frac{\partial [B_0 Y]}{\partial \theta} - D B_0 \frac{\partial Y}{\partial \theta} - 2D C_0 \frac{\partial Y}{\partial \xi} + D \left[2Q_0 - C_0 + \frac{d}{d\theta} B_0 \right] Y = 0 \quad (11)$$

На рассматриваемой области $t \geq 0, 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}, \xi \in R^1$ построим сетку с соответствующими шагами $\Delta t = \Delta_t, \Delta \theta = \Delta_\theta, \Delta \xi = \Delta_\xi$ по осям t, θ, ξ .

Введем следующие обозначения:

$$Y_{ij}^n = Y(n\Delta_t, i\Delta_\theta, j\Delta_\xi) = (y_1(n\Delta_t, i\Delta_\theta, j\Delta_\xi), y_2(n\Delta_t, i\Delta_\theta, j\Delta_\xi), y_3(n\Delta_t, i\Delta_\theta, j\Delta_\xi))',$$

$i = \overline{0, I}, n, |j| = \overline{0, 1, \dots}$

$$\|Y^n\|_{A_0}^2 = \Delta_\theta \Delta_\xi \sum_{i=0}^I \sum_{j=-\infty}^{\infty} e^{\xi_j} (A_0 Y_{ij}^n, Y_{ij}^n), \quad L = (1, 1, 1)'$$

Теперь мы построим параметрическое разностное уравнение, которое аппроксимирует уравнение (11):

$$e^{\xi_j} D_{ij}^n(A_0)_i \frac{Y_{ij}^{n+1} - Y_{ij}^n}{\Delta_t} + e^{\xi_j} D_{ij}^{n+1}(A_0)_i \frac{Y_{ij}^{n+1} - Y_{ij}^n}{\Delta_t} - \sigma \left[D_{ij}^{n+1} \frac{(B_0 Y)_{i+1j}^{n+1} - (B_0 Y)_{ij}^{n+1}}{\Delta_\theta} + D_{i+1j}^{n+1}(B_0)_{i+1} \frac{Y_{i+1j}^{n+1} - Y_{ij}^{n+1}}{\Delta_\theta} + D_{ij}^{n+1}(C_0)_i \frac{Y_{ij+1}^{n+1} - Y_{ij}^{n+1}}{\Delta_\xi} + D_{ij+1}^{n+1}(C_0)_i \frac{Y_{ij+1}^{n+1} - Y_{ij}^{n+1}}{\Delta_\xi} \right] - (1-\sigma) \left[D_{ij}^n \frac{(B_0 Y)_{i+1j}^n - (B_0 Y)_{ij}^n}{\Delta_\theta} + D_{i+1j}^n(B_0)_{i+1} \frac{Y_{i+1j}^n - Y_{ij}^n}{\Delta_\theta} + D_{ij}^n(C_0)_i \frac{Y_{ij+1}^n - Y_{ij}^n}{\Delta_\xi} + D_{ij+1}^n(C_0)_i \frac{Y_{ij+1}^n - Y_{ij}^n}{\Delta_\xi} \right] + D_{ij}^n \left[2Q_0 - C_0 + \frac{d}{d\theta} B_0 \right]_i Y_{ij}^n = 0 \quad (12)$$

$$n = \overline{0, N-1}, \quad i = \overline{0, I-1}, \quad |j| = \overline{0, 1, 2, \dots}$$

$$i = 0, |j| = 0, 1, 2, \dots \text{ da} \\ (y_1)_{oj}^n - a_2 (y_2)_{oj}^n - b_2 (y_3)_{oj}^n = 0, \quad (13)$$

$$i = I, |j| = 0, 1, 2, \dots \text{ da} \\ (y_1)_{ij}^n + a_1 (y_2)_{ij}^n - b_1 (y_3)_{ij}^n = 0, \quad (14)$$

$$n = 0, i = 0, 1, 2, \dots, I, |j| = 0, 1, 2, \dots \text{ da}$$

$$Y_{ij}^0 = \left(e^{\frac{1}{2}\xi_j} \tilde{\psi}(\xi_j, \theta_i), e^{\frac{1}{2}\xi_j} \tilde{\psi}_\theta(\xi_j, \theta_i), e^{\frac{1}{2}\xi_j} \tilde{\psi}_\xi(\xi_j, \theta_i) \right)' \quad (15)$$

Теорема. Предположим, что выполнено равное условие Лопатинского. Тогда для $\sigma \in [0, 1]$ разностная схема (12)–(15) будет устойчив при энергетической норме $\sqrt{J_n}$, здесь

$$J^n = \Delta_\theta \Delta_\xi \sum_{i=0}^{I-1} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} (A_0 V, V)_{ij}^n.$$

Доказательство.

Вышеперечисленную систему уравнений с правой стороны скалярно умножаем на вектор, который составители состоят из единиц.

$$\left(\bar{D}_{ij}^n (A_0)_i \frac{Y_{ij}^{n+1} + Y_{ij}^n}{\Delta_t}, L \right) + \left(D_{ij}^{n+1} (\bar{A}_0)_i \frac{\bar{Y}_{ij}^{n+1} - \bar{Y}_{ij}^n}{\Delta_t}, L \right) = \\ \left((A_0)_i \frac{Y_{ij}^{n+1} + Y_{ij}^n}{\Delta_t}, (\bar{D}L)_{ij}^n \right) + \left((A_0)_i (DL)_{ij}^{n+1}, \frac{\bar{Y}_{ij}^{n+1} - \bar{Y}_{ij}^n}{\Delta_t} \right) = \\ \frac{1}{\Delta_t} (A_0 Y, \bar{Y})_{ij}^{n+1} - \frac{1}{\Delta_t} (A_0 Y, \bar{Y})_{ij}^{n+1};$$

$$\left(\sigma \bar{D} \frac{[B_0 Y]_{i+1} - [B_0 Y]_i}{\Delta_\theta}, L \right) + \left(\sigma D_{i+1} [\bar{B}_0]_{i+1} \frac{\bar{Y}_{i+1} - \bar{Y}_i}{\Delta_\theta}, L \right) = \\ = \sigma \left(\frac{[B_0 Y]_{i+1} - [B_0 Y]_i}{\Delta_\theta}, \bar{Y}_i \right) + \sigma \left([B_0 Y]_{i+1}, \frac{\bar{Y}_{i+1} - \bar{Y}_i}{\Delta_\theta} \right) = \\ = \frac{\sigma}{\Delta_\theta} (B_0 Y, \bar{Y})_{i+1j}^n - \frac{\sigma}{\Delta_\theta} (B_0 Y, \bar{Y})_{ij}^n;$$

здесь $D = D_{ij}^n$, $\bar{D}_{i+1} = \bar{D}_{i+1j}^n$ и т.д. Получим уравнения:

$$\left(\sigma \bar{D} C_0 \frac{Y_{j+1} - Y_j}{\Delta_\xi}, L \right) + \left(\sigma D_{j+1} C_0 \frac{\bar{Y}_{j+1} - \bar{Y}_j}{\Delta_\xi}, L \right) = \\ = \sigma \left(C_0 \frac{Y_{j+1} - Y_j}{\Delta_\xi}, \bar{Y}_j \right) + \sigma \left(C_0 Y_{j+1}, \frac{\bar{Y}_{j+1} - \bar{Y}_j}{\Delta_\xi} \right) = \\ = \frac{\sigma}{\Delta_\xi} (C_0 \bar{Y}, \bar{Y})_{ij+1}^n - \frac{\sigma}{\Delta_\xi} (C_0 Y, \bar{Y})_{ij}^n;$$

$$\left((1-\sigma) D_{ij}^n \frac{[B_0 Y]_{i+1j}^n - [B_0 Y]_{ij}^n}{\Delta_\theta}, L \right) + \\ + \left((1-\sigma) D_{i+1j}^n [B_0]_{i+1} \frac{Y_{i+1j}^n - Y_{ij}^n}{\Delta_\theta}, L \right) = \\ = (1-\sigma) \left(\frac{[B_0 Y]_{i+1j}^n - [B_0 Y]_{ij}^n}{\Delta_\theta}, Y_{ij}^n \right) + \\ + (1-\sigma) \left(\frac{Y_{i+1j}^n - Y_{ij}^n}{\Delta_\theta}, [B_0 Y]_{i+1j}^n \right) = \\ = \frac{1-\sigma}{\Delta_\theta} (B_0 Y, Y)_{i+1j}^n - \frac{1-\sigma}{\Delta_\theta} (B_0 Y, Y)_{ij}^n$$

$$\left((1-\sigma) D_{ij}^n (C_0)_i \frac{Y_{ij+1}^n - Y_{ij}^n}{\Delta_\xi}, L \right) + \\ + \left((1-\sigma) D_{ij+1}^n [C_0]_i \frac{Y_{ij+1}^n - Y_{ij}^n}{\Delta_\xi}, L \right) = \\ = (1-\sigma) \left(\frac{Y_{ij+1}^n - Y_{ij}^n}{\Delta_\xi}, (C_0)_i Y_{ij}^n \right) + \\ + (1-\sigma) \left(\frac{Y_{ij+1}^n - Y_{ij}^n}{\Delta_\xi}, [C_0 Y]_{i,j+1}^n \right) = \\ = \frac{1-\sigma}{\Delta_\xi} (C_0 Y, Y)_{ij+1}^n - \frac{1-\sigma}{\Delta_\xi} (C_0 Y, Y)_{ij}^n$$

$$\left(\bar{D} \left[Q_0 - \mu C_0 + \frac{d}{d\theta} B_0 \right] Y, L \right) + \left(D [\bar{Q}_0 - \mu \bar{C}_0] \bar{Y}, L \right) = \\ = \left(\left[Q_0 - \mu C_0 + \frac{d}{d\theta} B_0 \right] Y, \bar{Y} \right) + \left(D [Q_0^* - \mu \bar{C}_0] \bar{Y}, Y \right) = \\ \left(\left[Q_0 + Q_0^* - 2 \operatorname{Re} \mu C_0 + \frac{d}{d\theta} B_0 \right] Y, \bar{Y} \right)$$

Из этих уравнений получаем соотношения

$$e^{\xi_j} \frac{1}{\Delta_t} \left\{ (A_0 Y, \bar{Y})^{n+1} - (A_0 Y, \bar{Y})^n \right\} - \frac{\sigma}{\Delta_\theta} \left\{ (B_0 Y, \bar{Y})_{i+1} - (B_0 Y, \bar{Y})_i \right\} - \\ - \frac{1}{\Delta_\xi} \left\{ (C_0 Y, \bar{Y})_{j+1} - (C_0 Y, \bar{Y})_j \right\} - \frac{1-\sigma}{\Delta_\theta} \left\{ (B_0 Y, \bar{Y})_{i+1} - (B_0 Y, \bar{Y})_i \right\} - \\ - \frac{1-\sigma}{\Delta_\theta} \left\{ (C_0 Y, \bar{Y})_{j+1} - (C_0 Y, \bar{Y})_j \right\} + \\ + \left(\left[Q_0 + Q_0' - C_0 + \frac{d}{d\theta} B_0 \right] Y, Y \right)_{ij}^n = 0$$

Эту соотношению умножаем на $\Delta_\xi, \Delta_\theta$ и сложим по i от 0 до $I-1$ и по j от $-\infty$ до $+\infty$.

Введя обозначение

$$\|Y^{n+1}\|_\Delta^2 = \Delta_\theta \cdot \Delta_\xi \cdot \sum_{i=0}^{I-1} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} e^{\xi_j} (A_0 Y_{ij}^{n+1}, \bar{Y}_{ij}^{n+1}) \text{ и принимая}$$

во внимание в $|\xi| \rightarrow \infty$ $\|Y\| = (\bar{Y}, Y)^{\frac{1}{2}} \rightarrow 0$ получим уравнение

$$\|Y^{n+1}\|_A^2 - \|Y^n\|_A^2 = \Delta_\theta \cdot \Delta_\xi \cdot \sigma \cdot \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \left\{ (B_0 Y, \bar{Y})_{I,j}^n - (B_0 Y, \bar{Y})_{0,j}^n \right\} + \Delta_t \cdot \Delta_\theta \cdot \Delta_\xi \cdot \sum_{i=0}^{I-1} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \left[Q_0 + Q_0^* - 2 \operatorname{Re} \mu C_0 - \frac{d}{d\theta} B_0 \right]_{ij} Y, \bar{Y}^n$$

На основе [2] можно доказать неравенство:

$$e^{\xi_0} (A_0 Y, Y)_{ij}^n > 0, \quad e^{\xi_0} (A_0 Y, Y)_{ij}^{n+1} > 0, \\ -\sigma (B_0 Y, Y)_{ij}^n \geq 0, \quad \sigma (B_0 Y, Y)_{ij}^n \geq 0, \\ \sigma (B_0 Y, Y)_{0j}^{n+1} \geq 0, \quad (1 - \sigma) (B_0 Y, Y)_{0j}^n \geq 0$$

А из этого получим соотношение

$$\|U^{n+1}\|_{W_2}^2 \leq \Delta_\theta \cdot \Delta_\xi \sum_{i=1}^{I-1} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \left\{ (U, \bar{U})_{ij}^n + (U_t, \bar{U}_t)_{ij}^n + (U_x, \bar{U}_x)_{ij}^n + (U_y, \bar{U}_y)_{ij}^n \right\}$$

Это полностью доказывает теорему.

В статье показано приближенное решение смешанной задачи поставленного векторного волнового уравнения на угловом пространстве.

Список литературы:

1. Блохин А.М., Ткачев Д.Л. Смешанная задача для волнового уравнения в координатных областях. Получение априорных оценок для смешанных задач для многомерного волнового уравнения. // Вычислительные технологии. Т.1, № 1,2. 1996, с.13-37, 26-46.
2. Бердиева С.М., Имомова Ш.М. Использование инновационных технологий на уроках информатики // Наука, техника и образование. 2018.10 (51).С. 28-31.
3. Бердиева С.М., Имомова Ш.М. Построение двухмерных графиков на уроках информатики средствами Excel // ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ. 2017. № 12(30).
4. Исроилов М.И. Ҳисоблаш усуллари. 1-қисм.-Тошкент, Ўзбекистон нашриёти, 2003.
5. Исмоилова М.Н., Имомова Ш.М. Интерполяция функции // ВЕСТНИК НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ 2020. № 3(81). Часть 3. С. 5.
6. Имомова Ш.М., Исмоилова М.Н. Вычисление наибольшего собственного значения матрицы и соответствующего ей собственного вектора в среде Mathcad // ACADEMY. 2020. № 6(57). С9.
7. Худойбергганов М.У. Устойчивость разностных схем для векторного волнового уравнения. // Труды Международной научной конференции. Дифф. урав. частными производными и родственные проблемы анализа и информатики. –Ташкент. 2004, с. 305-308.