Е. А. Энгель

АНАЛИЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ С ПРОПУСКАМИ

Интеллектуальные алгоритмы и методы хорошо подходят для многих задач обработки данных, где немаркированные данные преобладают. Проведен анализ селективных стратегий настройки интеллектуальной модели с акцентом на активные методы обучения (AL) и предложено два алгоритма, устраняющих недостатки проанализированных стратегий. Хотя уже было показано, что активное обучение заметно снижает усилия на аннотацию для многих задач маркировки последовательностей по сравнению со случайным выбором, AL не учитывает внутреннюю структуру выбранной последовательности (как правило, предложения). Предложен комбинированный подход AL к маркировке последовательности.

Ключевые слова: интеллектуальные алгоритмы и методы, обработка данных, активное обучение.

УДК 517.95

Т. К. Юлдашев

СМЕШАННАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОГО ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ, СОДЕРЖАЩЕГО КУБ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ОПЕРАТОРА

Рассмотрены вопросы однозначной разрешимости смешанной задачи для нелинейного интегро-дифференциального уравнения, содержащего куб параболического оператора. С помощью нелинейного метода Фурье разделения переменных задача сводится к изучению счетной системы нелинейных интегральных уравнений.

Ключевые слова: куб параболического оператора, отклонение аргумента, счетная система нелинейных интегральных уравнений, обобщенные производные, сходимость ряда.

В области D рассматривается уравнение

$$\left(\frac{\partial}{\partial t}-\frac{\partial^2}{\partial x^2}\right)^3 u(t,x)=$$

$$= f\left(t,x,u(t,x),-\frac{\partial^2}{\partial x^2}\int_0^t K(t,s)\,u(\delta(t,x),x)\,ds\right) \qquad (1)$$

с условиями

$$\left[\begin{array}{l} u(t,x)_{|\,t\in(-\infty;0]}=\varphi_1(t,x),\ u(t,x)_{|\,t\in(T;\infty)}=0,\\ u_t(t,x)_{|\,t=0}=\varphi_2(x),\ \ u_{tt}(t,x)_{|\,t=0}=\phi_3(x),\end{array}\right. \qquad (2)$$

$$\left[\begin{array}{l} u(t,x)_{|\,x=0}=u(t,x)_{|\,x=l}=u_{xx}(t,x)_{|\,x=0}=0,\\ u_{xx}(t,x)_{|\,x=l}=u_{xxxx}(t,x)_{|\,x=0}=u_{xxxx}(t,x)_{|\,x=l}=0,\end{array}\right. \qquad (3)$$

где $f(t,x,u(t,x))\in C(D\times R^2)$, здесь $D\equiv D_T\times D_l$, $D_T\equiv[\,0,T\,]$, $D_l\equiv[\,0,l\,]$, $0<l<\infty$, $0<T<\infty$; $0<K(t,s)\in C(D_T^2)$; $\delta(t,x)\neq t$; $\varphi_i(x)\in C(D_l)$, $\varphi_i(x)_{|\,x=0}=\varphi_i(x)_{|\,x=l}=\varphi_i''(x)_{|\,x=0}=\varphi_i''(x)_{|\,x=l}=\varphi_i^{(\mathrm{IV})}(x)_{|\,x=0}=$ $=\varphi_i^{(\mathrm{IV})}(x)_{|\,x=l}=0$, $i=\overline{1,3}$.

Решение данной задачи ищем в виде ряда [1]:

$$u(t,x)=\sum_{n=1}^{\infty}a_n(t)\cdot b_n(x),\quad (t,x)\in D, \qquad (4)$$

где $b_n(x)=\sqrt{\frac{2}{l}}\sin\lambda_n x$, здесь $\lambda_n=\frac{n\pi}{l}$, $n=1,2,\ \ldots$.

Функции $b_n(x)$ удовлетворяют граничным условиям

$$b_n(0)=b_n(l)=b_n''(0)=b_n''(l)=0.$$

Следовательно, функция, определенная с помощью ряда (4), формально удовлетворяет условиям (3).

В данной статье все обозначения заимствованы из работы [2]. Норму в пространстве $B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)$ примем следующим образом:

$$\|\vec{a}(t)\|_{B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)}=\alpha(t)\|\vec{a}(t)\|_{B_p(T)}+\eta(t)\left\|\lambda^2\vec{a}(t)\right\|_{B_p(T)},$$

где $0<\alpha(t)$; $\eta(t)\in C(D_T)$, $\lambda_n=\frac{n\pi}{l}$, $n=1,2,\ \ldots$.

Сведение решения задачи к счетной системе нелинейных интегральных уравнений. Введем следующее определение: если функция $u(t,x)\in E^{2,\eta}_{p,\alpha}(D)$ удовлетворяет интегральному тождеству

$$\int_0^T\int_0^l\left\{u(t,x)\left[\frac{\partial^3}{\partial t^3}\Phi+3\frac{\partial^4}{\partial t^2\partial x^2}\Phi+3\frac{\partial^5}{\partial t\partial x^4}\Phi+\right.\right.$$
$$\left.\left.+\frac{\partial^6}{\partial x^6}\Phi\right]+f\,\Phi\right\}d\,x\,d\,t=$$
$$=\int_0^l\phi_1\left[\frac{\partial^2}{\partial t^2}\Phi\right]_{t=0}d\,x-3\int_0^l\phi_2\left[\frac{\partial^3}{\partial t\partial x^2}\Phi\right]_{t=0}d\,x+$$
$$+3\int_0^l\phi_3\left[\frac{\partial^4}{\partial x^4}\Phi\right]_{t=0}d\,x$$

для любого $H(t,x)\in W_{k,p}\left(D_{-\frac{\partial^2}{\partial x^2}}\right)$, то функция $u(t,x)\in E^{2,\eta}_{p,\alpha}$ называется *решением смешанной задачи (1)…(3).*

Теорема 1. Пусть выполняются следующие условия:

1) $f\,Q:B_p(T)\to L_p(D)$ непрерывен;

2) $\|\vec{w}(t)\|_{B_p(T)}<\infty$;

3) $u(t,x)$ является решением смешанной задачи (1)…(3) и

$$a_n(t)=\int_0^l u(t,x)b_n(x)\,d\,x\,.$$

Тогда коэффициенты Фурье решения смешанной задачи (1)…(3) по собственным функциям $b_n(x)$ оператора $-\dfrac{\partial^2}{\partial x^2}$ удовлетворяют следующей счетной системе нелинейных интегральных уравнений (ССНИУ):

$$a_n(t)=w_n(t)+\int_0^t\int_0^l f\left(s,x,Q\vec{a}(s),Q^{2,\eta}\,\vec{a}\left(\delta(s,x)\right)\right)\times$$
$$\times\, b_n(x)P_n(t,s)\,d\,x\,d\,s,\ \ t\in D_T\,, \qquad (5)$$

где

$$w_n(t)=\left[\left(1+\lambda_n^2t+\frac{\lambda_n^4}{2}t^2\right)\cdot\phi_{1n}+\right.$$
$$\left.+\left(t+\lambda_n^2t^2\right)\cdot\phi_{2n}+\frac{t^2}{2}\cdot\phi_{3n}\right]\cdot e^{-\lambda_n^2t};$$

$$P_n(t,s)=2\cdot(t-s)^2\cdot e^{-\lambda_n^2(t-s)};$$

$$Q^{2,\eta}\vec{a}(t)=-\frac{\partial^2}{\partial x^2}\int_0^t K(t,s)u(s,x)\,d\,s=$$
$$=\sum_{n=1}^{\infty}\lambda_n^2\int_0^t K(t,s)\,a_n(s)\cdot b_n(x)\,d\,s\,.$$

Доказательство. Согласно определению решения смешанной задачи (1)…(3) имеем

$$\int_0^t\int_0^l\left\{\sum_{n=1}^{\infty}a_n(s)\cdot b_n(x)\left[\frac{\partial^3}{\partial s^3}\Phi+3\frac{\partial^4}{\partial s^2\partial x^2}\Phi+\right.\right.$$
$$\left.+3\frac{\partial^5}{\partial s\partial x^4}\Phi+\frac{\partial^6}{\partial x^6}\Phi\right]-f\,\Phi\Big\}\,d\,x\,d\,s=\int_0^l\phi_1\left[\frac{\partial^2}{\partial t^2}\Phi\right]_{t=0}d\,x-$$
$$-3\int_0^l\phi_2\left[\frac{\partial^3}{\partial t\partial x^2}\Phi\right]_{t=0}d\,x+3\int_0^l\phi_3\left[\frac{\partial^4}{\partial x^4}\Phi\right]_{t=0}d\,x. \qquad (6)$$

Пусть в (6) $\Phi=\Phi_m(t,x)=\ h(t)b_m(x)\in$ $\in W_{k,p}\left(D_{-\frac{\partial^2}{\partial x^2}}\right)$, где $0\neq h(t)\in C^3\left(D_T\right)$. Тогда

$$\int_0^t\int_0^l\left\{\sum_{n=1}^{\infty}a_n(s)\cdot b_n(x)\left[-h'''(s)b_m(x)-3\lambda_m^2h''(s)b_m(x)-\right.\right.$$
$$\left.-3\lambda_m^4h'(s)b_m(x)+\lambda_m^6h(s)b_m(x)\right]-$$
$$\left.-f\left(s,x,Q\vec{a}(s),Q^{2,\eta}\vec{a}\left(\delta(s,x)\right)\right)\cdot h(s)\cdot b_m(x)\right\}\,d\,x\,d\,s=$$
$$=\int_0^t\int_0^l\left\{\sum_{n=1}^{\infty}a_n(s)\cdot b_n(x)\left[-h'''(s)-3\lambda_m^2h''(s)-3\lambda_m^4h'(s)+\right.\right.$$
$$\left.+\lambda_m^6h(s)\right]-f\left(s,x,Q\vec{a}(s),Q^{2,\eta}\vec{a}\left(\delta(s,x)\right)\right)\times$$
$$\left.\times\, h(s)\cdot b_m(x)\right\}\,d\,x\,d\,s=0.$$

Учитывая, что система функций $\left\{b_n(x)\right\}_{n=1}^{\infty}$ ортонормирована, из последнего равенства имеем

$$\int_0^T\left[\,a_n(t)\cdot\left(-h'''(t)-3\lambda_m^2h''(t)-3\lambda_m^4h'(t)+\lambda_m^6h(t)\,\right)-\right.$$
$$-\int_0^l f\left(t,x,Q\vec{a}(t),Q^{2,\eta}\vec{a}\left(\delta(t,x)\right)\right)\times$$
$$\left.\times h(t)\cdot b_n(x)\,d\,x\right]\,d\,t=0,$$

откуда, интегрируя по частям, получим

$$\int_0^T h(t)\left[\,a_n'''(t)+3\lambda_n^2a_n''(t)+3\lambda_n^4a_n'(t)+\lambda_n^6a_n(t)-\right.$$
$$\left.-\int_0^l f\left(t,x,Q\vec{a}(t),Q^{2,\eta}\vec{a}\left(\delta(t,x)\right)\right)\cdot b_n(x)\,d\,x\right]d\,t=0. \qquad (7)$$

Так как $h(t)$ – это любая функция, удовлетворяющая вышеуказанным условиям, то $a_n(t)$ имеет обобщенные производные третьего порядка по t в смысле Соболева на отрезке D_T. Поскольку $h(t)\neq 0$ для всех $t\in D_T$, то из (7) получим

$$a_n'''(t)+3\lambda_n^2a_n''(t)+3\lambda_n^4a_n'(t)+\lambda_n^6a_n(t)=$$
$$=\int_0^l f\left(t,x,Q\vec{a}(t),Q^{2,\eta}\vec{a}\left(\delta(t,x)\right)\right)\cdot b_n(x)\,d\,x. \qquad (8)$$

Решим систему (8) методом вариации произвольных постоянных:

$$a_n(t)=\left(C_{1n}+C_{2n}t+C_{3n}t^2\right)\cdot e^{-\lambda_n^2 t}+$$
$$+\int_0^t\int_0^l f\left(s,x,Q\vec{a}(s),Q^{2,\eta}\vec{a}\left(\delta(s,x)\right)\right)\times$$
$$\times b_n(x)P_n(t,s)\,dx\,ds,\ \ t\in D_T. \qquad (9)$$

Для определения коэффициентов $C_{in}\,(i=\overline{1,3})$ используем условия

$$a_n(0)=\phi_{1n},\ a_n'(0)=\phi_{2n},\ a_n''(0)=\phi_{3n},$$

где $\phi_{in}=\int_0^l \phi_i(x)\cdot b_n(x)dx,\ i=\overline{1,3},\ x\in D_l$. Тогда из (9) получим ССНИУ (5).

Однозначная разрешимость ССНИУ. Рассмотрим ССНИУ (5) при нелинейном отклонении $\delta(t,x)=\ \delta(t,x,u(t,x))$.

Теорема 2. Пусть выполняются следующие условия:

1) $\int_0^T \left\| f\left(t,x,Q\vec{a}^0(t),Q^{2,\eta}\,\vec{a}^0\left(\delta(t,x,Q\vec{a}^0(t))\right)\right)\right\|_{L_p(D_l)} dt\le\Delta<\infty$;

2) $f(t,x,u,\vartheta)\in \mathrm{Lip}\left\{\alpha(t)_{|u};L_1(t)_{|\vartheta}\right\}$, где $0<\alpha(t),L_1(t)\in C(D_T)$;

3) $\delta(t,x,u)\in \mathrm{Lip}\left\{L_2(t)_{|u}\right\}$, где $0<L_2(t)\in C(D_T)$;

4) $\|\vec{w}(t)\|_{B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)}<\infty$.

Тогда ССНИУ (5) имеет единственное решение в пространстве $B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)$.

Доказательство. Используем метод последовательных приближений:

$$\begin{cases} a_n^0(t)=w_n(t),\ t\in D_T,\\ a_n^{k+1}(t)=w_n(t)+\\ +\int_0^t\int_0^l f\left(s,x,Q\vec{a}^k(s),Q^{2,\eta}\,\vec{a}^k\left(\delta(s,x,Q\vec{a}^k(s))\right)\right)\times\\ \times b_n(x)P_n(t,s)\,dx\,ds,\quad k=0,1,2,3,...,\ t\in D_T. \end{cases} \qquad (10)$$

В силу условий теоремы для первой разности $a_n^1(t)-a_n^0(t)$ из (10) получим

$$\left\|\vec{a}^1(t)-\vec{a}^0(t)\right\|_{B_p(T)}\le$$
$$\le\int_0^t\int_0^l\left|f\left(s,x,Q\vec{a}^0(s),Q^{2,\eta}\,\vec{a}^0\left(\delta(s,x,Q\vec{a}^0(s))\right)\right)\right|\times$$
$$\times\left\{\sum_{n=1}^\infty\left|P_n(t,s)\right|^p\right\}^{1/p}\cdot\left(\sum_{n=1}^\infty\left|b_n(x)\right|^q\right)^{\frac{1}{q}}dx\,ds\le$$
$$\le M_1M_2\int_0^t\int_0^l\left|f\left(s,x,Q\vec{a}^0(s),Q^{2,\eta}\vec{a}^0\left(\delta(s,x,Q\vec{a}^0(s))\right)\right)\right|\times$$
$$\times dx\ ds\le M_1M_2\,l^{\frac{1}{q}}\,\Delta,$$

где $M_1=\max_{(t,s)}\left\|\vec{P}(t,s)\right\|_{B_p(T)}$; $M_2=\max_x\left\|\vec{b}(x)\right\|_{B_q(l)}$, $\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=1$.

Отсюда имеем, что

$$\left\|\vec{a}^1(t)-\vec{a}^0(t)\right\|_{B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)}\le$$
$$\le\left(\alpha(t)M_1+\eta(t)\bar{M}_1\right)M_2\,l^{\frac{1}{q}}\Delta, \qquad (11)$$

где

$$\eta(t)=L_1(t)\cdot\int_0^t\left|K(t,s)\right|\cdot\left(1+\Delta\cdot L_2(s)\right)ds;$$
$$\bar{M}_1=\max_{(t,s)}\left\|\lambda^2\vec{P}(t,s)\right\|_{B_p(T)}<\infty.$$

С учетом (11) в силу второго и третьего условий теоремы для второй разности $a_n^2(t)-a_n^1(t)$ получим следующую оценку [2; 3]:

$$\left\|\vec{a}^2(t)-\vec{a}^1(t)\right\|_{B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)}\le\left(\alpha(t)M_1+\eta(t)\bar{M}_1\right)M_2\times$$
$$\int_0^t\int_0^l\left|f\left(s,x,Q\vec{a}^1(s),Q^{2,\eta}\vec{a}^1\left(\delta(s,x,Q\vec{a}^1(s))\right)\right)-\right.$$
$$\left.-f\left(s,x,Q\vec{a}^0(s),Q^{2,\eta}\,\vec{a}^0\left(\delta(s,x,Q\vec{a}^0(s))\right)\right)\right|dx\,ds\le$$
$$\le\left(\alpha(t)M_1+\eta(t)\bar{M}_1\right)M_2^2\int_0^t\int_0^l\Big[\alpha(s)\left\|\vec{a}^1(s)-\vec{a}^0(s)\right\|_{B_p}+$$
$$+L_1(s)\int_0^s K(s,\theta)\Big\|\lambda^2\left(\vec{a}^1\left(\delta(\theta,x,Q\vec{a}^1(\theta))\right)-\right.$$
$$\left.-\vec{a}^0\left(\delta(\theta,x,Q\vec{a}^0(\theta))\right)\right)\Big\|_{B_p}d\theta\Big]dx\,ds\le$$
$$\le\Delta\left[\left(\alpha(t)M_1+\eta(t)\bar{M}_1\right)\right]^2M_2^3\,l^{\frac{1}{q}+1}\,t, \qquad (12)$$

где $\eta(t)=L_1(t)\cdot\int_0^t\left|K(t,s)\right|\cdot\left(1+\Delta\cdot L_2(s)\right)ds$.

Для произвольного натурального числа k аналогично (12) получим

$$\left\|\vec{a}^{k+1}(t)-\vec{a}^k(t)\right\|_{B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)}\le$$
$$\le\Delta\left[\left(\alpha(t)M_1+\eta(t)\bar{M}_1\right)\right]^{k+1}l^{\frac{1}{q}+k}M_2^{2k+1}\frac{t^k}{k!}. \qquad (13)$$

Существование решения ССНИУ (5) следует из оценки (13), так как при $k\to\infty$ последовательность функций $\left\{\vec{a}^k(t)\right\}_{k=1}^\infty$ сходится равномерно по t к функции $\vec{a}(t) \in B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)$. Покажем единственность этого решения в пространстве $B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)$.

Пусть ССНИУ (5) имеет два решения: $\vec{a}(t) \in B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)$ и $\vec{\vartheta}(t) \in B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)$. Тогда для их разности получим оценку

$$\left\| \vec{a}(t) - \vec{\vartheta}(t) \right\|_{B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)} \leq \left(\alpha(t) M_1 + \eta(t) \bar{M}_1 \right) \times$$
$$\times M_2^2 \, l \int_0^t \left\| \vec{a}(s) - \vec{\vartheta}(s) \right\|_{B^{2,\eta}_{p,\alpha}(t)} ds. \qquad (14)$$

Применяя к (14) неравенство типа Гронуолла–Бельмана, получим, что $\left\| \vec{a}(t) - \vec{\vartheta}(t) \right\|_{B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)} \equiv 0$ для всех $t \in [0;T]$. Отсюда следует единственность решения ССНИУ (5) в пространстве $B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)$.

Однозначная разрешимость смешанной задачи. Подставляя ССНИУ (5) в ряд (4), получим формальное решение смешанной задачи (1)…(3):

$$u(t,x) = \sum_{n=1}^{\infty} \Big[w_n(t) +$$
$$+ \int_0^t \int_0^l f\left(s, x, Q\vec{a}(s), Q^{2,\eta} \vec{a}\left(\delta(s,x,Q\vec{a}(s)) \right)\right) \times$$
$$\times b_n(x) P_n(t,s) \, dx \, ds \Big] \cdot b_n(x). \qquad (15)$$

Теорема 3. Пусть выполняются условия теоремы 2. Если $\vec{a}(t) \in B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)$ является решением ССНИУ (5), то ряд (15) будет решением смешанной задачи (1)…(3).

Доказательство. Так как $\vec{a}(t) \in B^{2,\eta}_{p,\alpha}(T)$, то из равенства

$$\lim_{k \to \infty} u^k(t,x) = \lim_{k \to \infty} \sum_{n=1}^{k} a_n(t) \cdot b_n(x) = u(t,x)$$

следует, что

$$\lim_{k\to\infty} f\left(t, x, u^k(t,x), -\frac{\partial^2}{\partial x^2} \int_0^t K(t,s) u^k(\delta(s,x,u^k(s,x),x) ds \right) =$$
$$= f\left(t, x, u(t,x), -\frac{\partial^2}{\partial x^2} \int_0^t K(t,s) u(\delta(s,x,u(s,x),x) ds \right) \qquad (16)$$

в смысле метрики $L_p(D)$.

Строим последовательность функций:

$$V_k = \int_0^T \int_0^l \Bigg\{ u^k(t,x) \left[\frac{\partial^3}{\partial t^3}\Phi + 3\frac{\partial^4}{\partial t^2 \partial x^2}\Phi + 3\frac{\partial^5}{\partial t \partial x^4}\Phi + \frac{\partial^6}{\partial x^6}\Phi \right] +$$
$$+ f\left(t, x, u^k(t,x), -\frac{\partial^2}{\partial x^2} \times \right.$$
$$\left. \times \int_0^t K(t,s) u^k(\delta(s,x,u^k(s,x),x) ds \right) \Phi \Bigg\} dx \, dt -$$
$$\int_0^l \phi_1 \left[\frac{\partial^2}{\partial t^2} \Phi \right]_{t=0} dx + 3 \int_0^l \phi_2 \left[\frac{\partial^3}{\partial t \partial x^2} \Phi \right]_{t=0} dx -$$
$$-3 \int_0^l \phi_3 \left[\frac{\partial^4}{\partial x^4} \Phi \right]_{t=0} dx. \qquad (17)$$

Покажем, что при $k \to \infty$ (17) есть интегральное тождество (6), т. е. $\lim_{k\to\infty} V_k = 0$. Интегрируя по частям отдельные слагаемые в (17) и учитывая условия теоремы и начальные условия

$$a_n(0) = \phi_{1n}, \; a'_n(0) = \phi_{2n}, \; a''_n(0) = \phi_{3n},$$

имеем

$$V_k = \int_0^l \left(\phi_1(x) - \sum_{n=1}^{k} \phi_{1n} b_n(x) \right) \left[\Phi_{tt} \right]_{t=0} dx -$$
$$- \int_0^l \left(\phi_2(x) - \sum_{n=1}^{k} \phi_{2n} b_n(x) \right) \left[\Phi_t \right]_{t=0} dx +$$
$$+ \int_0^l \left(\phi_3(x) - \sum_{n=1}^{k} \phi_{3n} b_n(x) \right) \left[\Phi \right]_{t=0} dx + \int_0^T \int_0^l \Phi(t,x) \times$$
$$\times \sum_{n=1}^{k} \Bigg\{ \int_0^l f\left(t, y, Q\vec{a}(t), Q^{2,\eta} \vec{a}\left(\delta(t,y,Q\vec{a}(t)) \right) \right) \cdot b_n(y) \, dy -$$
$$- f\left(t, x, Q\vec{a}(t), Q^{2,\eta} \vec{a}\left(\delta(t,x,Q\vec{a}(t)) \right) \right) \Bigg\} \times$$
$$\times b_n(x) \, dx \, dt. \qquad (18)$$

Очевидно, что первые три интеграла в (18) стремятся к нулю при $k \to \infty$, так как $\varphi_i(x) \in L_p(D_l)$. Сходимость разности двух последних интегралов в (18) при $k \to \infty$ следует из (16), откуда $\lim_{k\to\infty} P_k = 0$. Это и доказывает теорему.

Библиографические ссылки

1. Юлдашев Т. К. Метод разделения переменных : учеб. пособие / Ош. гос. юрид. ин-т. Ош, 2010.

2. Юлдашев Т. К. Уравнения в частных производных четвертого порядка / Ош. гос. юрид. ин-т. Ош, 2010.

3. Юлдашев Т. К. Нелинейные интегральные и интегро-дифференциальные уравнения / Ош. гос. юрид. ин-т. Ош, 2010.

T. K. Yuldashev

MIXED PROBLEM FOR NONLINEAR INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATION INVOLVING CUBE OF PARABOLIC OPERATOR

In this paper we consider problems of one-valued solubility of mixed problem for a nonlinear integro-differential equation, consisting cube of parabolic operator. By the Fourier nonlinear method of separation variables we obtain the countable system of nonlinear integral equation.

Keywords: cube of parabolic operator, argument deviation, countable system of nonlinear integral equations, general derivatives, convergence of series.