УДК 517.977

В. Л. Пасиков

ИГРОВЫЕ ЗАДАЧИ НАВЕДЕНИЯ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ИНТЕГРОДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ ВОЛЬТЕРРА С УПРАВЛЯЮЩИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ ПОД ЗНАКОМ ИНТЕГРАЛА

Аннотация. Рассматриваются игровые задачи наведения для линейных интегродифференциальных систем Вольтерра с управляющими воздействиями под знаком интеграла и игровая задача m лиц для положения равновесия системы функционалов (типа расстояния) в смысле Нэша. При решении этих задач используется известная экстремальная конструкция академика Н. Н. Красовского, модифицированная к рассматриваемым ситуациям.

Ключевые слова: игровая задача, стратегия, движение, позиция игры, программный максимин, управляющее воздействие.

Abstract. The article considers aiming game tasks for linear integro-differential Volterre's system with control action under the integral sign. The author studies the task of aiming to the point of origin and the m distinction game task for equilibrium position of the functional system (distance type) in Nashe's implication. To solve such problems the researcher suggests some modifications to the well-known extreme construction by prof. N. Krasovskiy.

Key words: game task, strategy, motion, game position, policy maximin, control action.

Статья продолжает исследование [1], а также нумерацию разделов, формул, определений и теорем в [1].

Так как эволюция систем описывается линейными векторными интегродифференциальными уравнениями Вольтерра с управляющими воздействиями под знаком интеграла, то применение методов решения подобных задач для дифференциальных систем, развитых в [2–10] значительно усложняется.

2. Игровая задача наведения для линейных интегродифференциальных систем Вольтерра

Рассматривается конфликтно-управляемая система линейных интегродифференциальных уравнений Вольтерра

$$\dot{x}(t) = f(t) + A(t)x(t) + \int_0^t K(t,s)x(s)\,ds + \int_0^t B_1(t,s)u(s)\,ds - \int_0^t B_2(t,s)v(s)\,ds,$$

$$x(0) = x_0.$$

Здесь x – n-мерный фазовый вектор; u – r_1-мерный, v – r_2-мерный векторы управляющих воздействий, остальные ограничения аналогичны разд. 1 [1].

Игра рассматривается на заданном отрезке $[0,\theta]$ и плата изображается равенством

$$\gamma(\theta)=\left\|\left\{x(\theta)\right\}_m\right\|,\ m\le n. \tag{24}$$

Состояние системы (23) описывается соотношением согласно (8)

$$x(t)=X(t,0)x_0+\int_0^t X(t,s)\Psi(s,0)ds\varphi(0)+\int_0^t\left[\int_s^t X(t,\tau)\Psi(\tau,s)d\tau\right]d\varphi(s)+$$

$$+\int_0^t\left[\int_s^t X(t,\tau)\chi_1(\tau,s)d\tau\right]u(s)ds-\int_0^t\left[\int_s^t X(t,\tau)\chi_2(\tau,s)d\tau\right]v(s)ds.$$

Здесь $X(t,s)$ – матрица Коши системы $\overset{\bullet}{\alpha}=A(t)\alpha$,

$$\Phi(t,s)=\int_s^t K(t,\tau)X(\tau,s)d\tau,\ \varphi(t)=f(t)+\Phi(t,0)Z_0,\ \Psi(t,s)=E+\int_s^t R(t,\tau)d\tau,$$

$R(t,\tau)$ – резольвента матрицы $\Phi(t,\tau)$;

$$\chi_1(t,s)=\Psi(t,s)B_1(s,s)+\int_s^t\Psi(t,\tau)\frac{\partial B_1(\tau,s)}{\partial\tau}d\tau,$$

$$\chi_2(t,s)=\Psi(t,s)B_2(s,s)+\int_s^t\Psi(t,\tau)\frac{\partial B_2(\tau,s)}{\partial\tau}d\tau.$$

Будем теперь предполагать, что до момента t_0, $0\le t_0<\theta$, применялись некоторые допустимые управления $\omega_i[t]$, а после момента t_0 полагаем $\omega_i[t]$, тогда состояние системы (23) в момент t определяется формулой (9)

$$x(\theta,t)=x(\theta,t_0)+\int_0^t\left[\int_s^\theta X(\theta,\tau)\chi_1(\tau,s)d\tau\right]u(s)ds-$$

$$-\int_0^t\left[\int_s^\theta X(\theta,\tau)\chi_2(\tau,s)d\tau\right]v(s)ds. \tag{25}$$

Задача 3. Первый игрок распоряжается выбором управления $u(t)\in U_t$ и стремится минимизировать величину (24), второй игрок распоряжается выбором управления $v(t)\in V_t$ и стремится максимизировать величину (24). Здесь позиция игры определяется как пара $p=\{t,x(\theta,t)\}$.

Программный максимин для рассматриваемого случая определяется следующим образом:

$$\varepsilon_0\left(t_0,x(\theta,t_0)\right)=\max_{\|l\|=1}\left\{\int_{t_0}^\theta\max_{v(s)=v\in V_s}\left[\int_s^\theta l'X(\theta,\tau)\chi_2(\tau,s)d\tau\right]v(s)ds-\right.$$

$$-\int_{t_0}^{\theta} \max_{u(s)=u\in U_s}\left[\int_s^{\theta}\left(l'X(\theta,\tau)\right)\chi_1(\tau,s)\,d\tau\right]u(s)\,ds-\left(l'x(\theta,t_0)\right)\Bigg\}. \tag{26}$$

Исходя из (18), введем в рассмотрение функцию

$$\varepsilon\left(t,x(\theta,t)\right)=\int_{t_0}^{t}\int_s^{\theta}\left[l_0'X(\theta,\tau)\chi_2(\tau,s)\,d\tau\right]v[s]\,ds+$$

$$+\int_t^{\theta}\max_{v(s)=v\in V_s}\left[\int_s^{\theta}l_0'X(\theta,\tau)\chi_2(\tau,s)\,d\tau\right]v(s)\,ds-\int_{t_0}^{t}\int_s^{\theta}\left[l_0'X(\theta,\tau)\chi_1(\tau,s)\,d\tau\right]u[s]\,ds-$$

$$-\int_t^{\theta}\max_{u(s)=u\in U_s}\left[\int_s^{\theta}l_0'X(\theta,\tau)\chi_1(\tau,s)\,d\tau\right]u(s)\,ds-\left(l_0'x(\theta,t_0)\right), \tag{27}$$

где l_0' – вектор-строка – решение задачи (26); $\left\{l_0'X(\theta,t)\right\}=\alpha(t)$ – решение дифференциальной системы $\dot{\alpha}=-A'(t)\alpha$; далее вводим обозначения:

$$x^e(t)=\int_t^{\theta}\alpha'(t)\chi_1(\tau,t)\,d\tau,\ y^e(t)=\int_t^{\theta}\alpha'(\tau)\chi_2(\tau,t)\,d\tau.$$

Производная (27) записывается аналогично (19):

$$\frac{d\varepsilon}{dt}=\int_t^{\theta}\left[l_0'X(\theta,\tau)\chi_2(\tau,t)\,d\tau\right]v(t)-\max_{v\in V_t}\int_t^{\theta}\left[l_0'X(\theta,\tau)\chi_2(\tau,t)\,d\tau\right]v-$$

$$-\int_t^{\theta}\left[l_0'X(\theta,\tau)\chi_1(\tau,t)\,d\tau\right]u(t)+\max_{v\in U_t}\int_t^{\theta}\left[l_0'X(\theta,\tau)\chi_1(\tau,t)\,d\tau\right]u,$$

или

$$\frac{d\varepsilon}{dt}=y^e(t)v(t)-\max_{v\in V_t}y^e(t)v-x^e(t)u(t)+\max_{u\in U_t}x^e(t)u,$$

экстремальное управление вычисляется согласно определению 4.

Теорема 4. В регулярном случае при выборе первым (вторым) игроком стратегии $U^e=U^e\left(t,x(\theta,t)\right)$, $\left(V^e=V^e\left(t,x(\theta,t)\right)\right)$, $t_0\le t\le\theta$, $0\le t_0<\theta$, описываемой определением 2.3, ему будет гарантирован результат игры $\left\|\left\{x(\theta)_m\right\}\right\|\le\varepsilon_0\left(t_0,x(\theta,t_0)\right)$ $\left(\left\|\left\{x(\theta)_m\right\}\right\|\ge\varepsilon_0\left(t_0,x(\theta,t_0)\right)\right)$ при любом допустимом способе управления второго (первого) игрока.

Доказательства аналогичны доказательствам теорем 1 и 2.

Теорема 5. В регулярном случае при выборе игроками своих экстремальных стратегий U^e, V^e, описываемых определением 2.3, им будет гарантирован результат игры $\left\|\left\{x(\theta)_m\right\}\right\| = \varepsilon_0\left(t_0, x(\theta, t_0)\right)$.

Пример. Пусть движение управляемого объекта описывается системой двух скалярных уравнений:

$$\dot{x}(t) = e^t + \int_0^t x(s)\,ds + \int_0^t u(s)\,ds - \int_0^t v(s)\,ds,$$

здесь $f(t) = e^t, K(t,s) \equiv 1, A(t) \equiv 0, B(t,s) \equiv 1$.

Соответствующее дифференциальное уравнение имеет вид $\dot{\alpha}(t) = 0$, тогда полагаем, что фундаментальная матрица $X(t,s) \equiv 1$, матрица Коши $X(t,s) = X(t)X^{-1}(s) \equiv 1$. Далее, как и в [10], $\Phi(t,s) = t - s$, резольвента этой матрицы $R(t,s) = \mathrm{sh}(t-s)$, тогда $\psi(t,s) = \mathrm{ch}(t-s)$; $\chi(t,s) = \psi(t,s)$, $\varphi(t) = e^t + t$, $\varphi(0) = 1$.

Слагаемые в (8) определяются формулами

$$\int_0^t X(t,s)\psi(s,0)\,ds\,\varphi(0) = \mathrm{sh}t, \quad \int_s^t X(t,\tau)\psi(\tau,s)\,d\tau = \mathrm{sh}(t-s),$$

$$\int_0^t \left[\int_s^t X(t,\tau)\psi(\tau,s)\,d\tau\right] d\varphi(s) = t\left(\frac{1}{2}e^t - 1\right) + \frac{1}{2}\mathrm{sh}t;$$

получаем для начального условия $x(0) = 10$:

$$x(t) = 10 + \frac{3}{2}\mathrm{sh}t + t\left(\frac{1}{2}e^t - 1\right) + \int_0^t \mathrm{ch}(t-s)u(s)\,ds - \int_0^t \mathrm{ch}(t+s)v(s)\,ds.$$

Определяем начальную позицию игры:

$$x(\theta, t_0) = 1 + \frac{3}{2}\mathrm{sh}\theta + \theta\left(\frac{1}{2}e^\theta - 1\right) + \int_0^{t_0} \mathrm{sh}(t_0 - s)u[s]\,ds - \int_0^{t_0} \mathrm{sh}(t_0 - s)v[s]\,ds;$$

тогда в начальный момент управления имеем

$$\varepsilon_0\left(t_0, x(\theta, t_0)\right) = \max_{\|l\|=1}\left\{\int_{t_0}^{\theta} \max_{v(s)=v\in V_s} l'\mathrm{sh}(\theta - s)v(s)\,ds - \right.$$

$$\left. - \int_{t_0}^{\theta} \max_{u(s)=u\in U_s} l'\mathrm{sh}(\theta - s)u(s)\,ds - l'x(\theta, t_0)\right\}.$$

Будем теперь считать, как и в [10], что игрок, распоряжающийся управлением *u*, выбирает его значения из отрезка [2,5], а игрок, распоряжающийся управлением *v*, выбирает его из отрезка [3,4]. Так как решения исходной системы – кривые на плоскости, то заключаем, что экстремальный вектор l имеет постоянное направление по прямой $y = x$ в направлении убывания (по модулю) переменных x и y. При таком использовании ресурсов управления решение будет приведено в начало координат, так как $u^e = (5,5)$, а $v^e = (4,4)$.

4. Одна игровая задача для нескольких лиц

Рассматривается интегродифференциальная система

$$x(t) = f(t) + A(t)x(t) + \int_0^t K(t,s)x(s)ds + \sum_{i=1}^m \int_0^t B_i(t,s)u_i(s)ds, \; x(0) = x_0, \quad (28)$$

ее решение по аналогии со случаем двух игроков можно записать в виде

$$x(t) = X(t,0)x_0 + \int_0^t X(t,s)\Psi(s,0)ds\varphi(0) + \int_0^t \left[\int_s^t X(t,\tau)\Psi(\tau,s)d\tau\right] d\varphi(s) +$$

$$+\int_0^t \sum_{i=1}^m \left[\int_s^t X(t,\tau)\chi_i(\tau,s)d\tau\right] u_i(s)ds, \quad (29)$$

$u_i(t) \in U_t^i$, $i = \overline{1,m}$; U_t^i – выпуклые компакты в R^r; $X(t,s)$ – матрица Коши системы $\dot{\alpha} = A(t)\alpha$;

$$\Phi(t,s) = \int_s^t K(t,\tau)X(\tau,s)d\tau, \; \varphi(t) = f(t) + \Phi(t,0)x_0, \; \psi(t,s) = E + \int_s^t R(t,\tau)d\tau,$$

E – единичная матрица, $R(t,s)$ – резольвента матрицы $\Phi(t,s)$;

$$\chi_i(t,s) = \psi(t,s)B_i(s,s) + \int_s^t \psi(t,\tau)\frac{\partial B_i(\tau,s)}{\partial \tau}dt.$$

Далее обозначаем

$$x(\theta,t_0) = X(\theta,0)x_0 + \int_0^\theta X(\theta,)\psi(s,0)ds\varphi(0) + \int_0^\theta \left[\int_s^\theta X(\theta,t)\psi(\tau,s)d\tau\right] d\varphi(s) +$$

$$+\int_0^{t_0} \sum_{i=1}^m \left[\int_s^\theta X(\theta,\tau)\chi_i(\tau,s)d\tau\right] u_i[s]ds,$$

тогда состояние системы (28) в момент $t_0 \le t < \theta$ определяется формулой

$$x(\theta,t) = X(\theta,t_0) + \sum_{i=1}^{m}\left[\int_{s}^{\theta} X(\theta,\tau)\chi_i(\tau,s)\,d\tau\right]u_i[s]\,ds.$$

Пусть также задана система функционалов

$$\Omega = \left\{ I_i \left| I_i(u_1,...,u_m) = \varphi_i(x[t]), i = \overline{1,m} \right.\right\}. \tag{30}$$

Задача 4. Найти такие стратегии $U_1^e,...,U_m^e$, для которых выполняются соотношения

$$\phi_i\left(x^e[t]\right) \le \varphi_i\left(x^k[t]\right),\ i = \overline{1,m}. \tag{31}$$

Здесь $x^e(t)$ – реализовавшаяся траектория $x[t]$, $0 \le t \le \theta$, системы (28), которая отвечает стратегиям $U_1^e,...,U_m^e$; $x^k(t)$ – реализовавшаяся траектория $x[t]$ системы (28), соответствующая управлениям $u_1^e[t],...,u_{k-1}^e[t],u_k[t]$, $u_{k+1}^e[t],...,u_m^e[t]$, где $u_i^e[t]$, $i \ne k$, $i = \overline{1,m}$, формируется на основе стратегии U_i^e; $u_k[t]$ – реализация суммируемого по Лебегу управления, стесненного условием $u_k(t) \in U_t^k$.

Если задача 4 разрешима, то набор стратегий $U^e = \left\{U_1^e,...,U_m^e\right\}$ называется равновесным по Нэшу. Как и при исследовании аналогичной задачи в [9], будем рассматривать случай, когда $I_i(u_1,...,u_m) = \left\|C_i - x(\theta)\right\|$, где C_i – заданные точки в R^n, $i = \overline{1,m}$.

Определение 5. Тройка $p = \left\{t, x(\theta,t), C_i\right\}$ называется позицией *i*-го игрока, $i = \overline{1,m}$, в момент *t*, $t_0 \le t < \theta$, $0 \le t_0 < \theta$; позиция $p_0 = \left\{t_0, x(\theta,t_0), C_i\right\}$ называется начальной.

Определение 6. Стратегией U_i *i*-го игрока, $i = \overline{1,m}$, называется многозначное отображение, которое каждой реализовавшейся позиции $p = \left\{t, x(\theta,t), C_i\right\}$ ставит в соответствие некоторое непустое множество [1]

$$U_i\left(t, x(\theta,t), C_k\right) \div u_i\left(t, x(\theta,t), C_k\right) \subset U_t^i;$$

такие стратегии и соответствующие им управления называются допустимыми. Движения системы (28) определяются аналогично [3]. Будем теперь решать задачу за *k*-го игрока, $k = \overline{1,m}$, для чего запишем *k*-й функционал в виде программного максимина

$$\left\|C_k - x(\theta)\right\| = \varepsilon_k\left(t_0, x(\theta,t_0), C_k\right) = \max_{\|l\|=1}\Big[l'\left(C_k - x(\theta,t_0)\right) -$$

$$-\int_{t_0}^{\theta} \max_{u_k(s)=u_k\in U_t^k} \int_s^{\theta} l'X(\theta,\tau)\chi_k(\tau,s)\,d\tau u_k(s)\,ds -$$

$$-\int_{t_0}^{\theta} \sum_{\substack{i=1\\ i\neq k}}^{m} \min_{u_i(s)=u_i\in U_t^i} \left(\int_s^{\theta} l'X(\theta,\tau)\chi_i(\tau,s)\,d\tau \right) u_i(s)\,ds \Bigg], \qquad (32)$$

если правая часть этого равенства положительна, иначе $\varepsilon_k\left(t_0, x(\theta,t_0), C_k\right)=0$; вектор, решающий задачу (32), называется экстремальным, обозначим его символом l_0^k, вектор-строка $l_0^{k\prime}X(\theta,t)$ является решением системы $\dot{\alpha}_k = -A'(t)\alpha_k$ с краевым условием $\alpha_k(\theta)=l_0^k$; для краткости обозначим $x_k^e(t_0)=\int_{t_0}^{\theta} \alpha_k'(\tau)\chi_k(\tau,t)\,d\tau$.

Предполагается, что при любом t_0, $0\le t_0<\theta$, максимум в правой части (32) достигается на единственном векторе l_0^k, т.е. рассматривается регулярный случай, причем вектор $l_0^k = l_0^k\left(t_0, x(\theta,t_0), C_k\right)$ непрерывно зависит от позиции игры как и в [2].

Определение 7. Пусть вектор l_0^k, $1\le k\le m$, в каждый момент t_0, $0\le t_0<\theta$, доставляет максимум правой части (32), тогда, если позиция $p=\left\{t_0, x(\theta,t_0), C_k\right\}$ такова, что $\varepsilon_k\left(t_0, x(\theta,t_0), C_k\right)>0$, то с этой позицией будем сопоставлять множество $U_k^e\left(t_0, x(\theta,t_0), C_k\right)$, $1\le k\le m$, всех векторов $U_k^e \subset U_t^k$, которые удовлетворяют условию

$$x_k^e(t_0)u_k^e[t] = \max_{u_k(t_0)=u_k=U_t^k} x_k^e(t)u_k. \qquad (33)$$

Аналогично [2] можно показать, что экстремальные стратегии, построенные по формуле (33), допустимы.

Теорема 6. В регулярном случае экстремальные стратегии U_k^e, $1\le k\le m$, уравновешивают в смысле Нэша систему функционалов (30).

Доказательство. Рассмотрим функцию

$$\varepsilon_k\left(t, x(\theta,t), C_k\right) = l_0^{k\prime}\left(C_k - x(\theta,t_0)\right) - \int_{t_0}^{t} \left[\int_s^{\theta} l_0^{k\prime} X(\theta,\tau)\chi_k(\tau,s)\,d\tau \right] u_k(s)\,ds -$$

$$-\int_t^{\theta} \max_{u_k(s)=u_k\in U_s^k} \left[\int_s^{\theta} l_0^{k\prime} X(\theta,\tau)\chi_k(\tau,s)\,d\tau \right] u_k(s)\,ds -$$

$$-\int_{t_0}^{t}\sum_{\substack{i=1\\i\neq k}}^{m}\min_{u_i(s)=u_i\in U_s^i}\left[\int_s^{\theta} l_0^{k\prime}X(\theta,\tau)\chi_i(\tau,s)d\tau\right]u_i(s)ds-$$

$$-\int_t^{\theta}\sum_{\substack{i=1\\i\neq k}}^{m}\left[\int_s^{\theta} l_0^{k\prime}X(\theta,\tau)\chi_i(\tau,s)d\tau\right]u_i^e(s)ds\,. \qquad (34)$$

Таким образом, предполагается, что в (32), (34) все игроки, за исключение k-го, на соответствующих промежутках выбрали управление наихудшим для себя образом, т.е. желают максимизировать (32). При $t=t_0$ все игроки применяют в (34) свои экстремальные стратегии. Обозначим эту величину символом $\varepsilon(t_0,x(\theta,t_0),C_k)$. Далее вычислим производную:

$$\frac{d\varepsilon_k(t)}{dt}=-\int_t^{\theta} l_0^{k\prime}X(\theta,\tau)\chi_k(\tau,t)u_k(t)+\max_{u_k(t)=u_k\in U_t^k}\int_t^{\theta} l_0^{k\prime}X(\theta,\tau)\chi_k(\tau,t)u_k+$$

$$+\sum_{\substack{i=1\\i\neq k}}^{m}\int_t^{\theta} l_0^{k\prime}X(\theta,\tau)\chi_i(\tau,t)d\tau u_i^e(t)-\sum_{\substack{i=1\\i\neq k}}^{m}\min_{u_i(t)=u_i\in U_t^i}\int_t^{\theta} l_0^{k\prime}X(\theta,\tau)\chi_i(\tau,t)d\tau u_i\,. \qquad (35)$$

Будем теперь в (34), а следовательно, и в (35), заменять при $t\in[t_0,\theta]$ управление k-го игрока на произвольное допустимое, а управления остальных игроков на экстремальные, тогда в правой части (35) $\forall t\in(t_0,\theta)$ суммы первого и второго слагаемых, суммы третьего и четвертого слагаемых положительны, следовательно, на (t,θ) $\frac{d\varepsilon(t)}{dt}\geq 0$, функция $\varepsilon(t)$ не убывает на (t_0,θ) и, таким образом, $\varepsilon_k(t_0,x(\theta,t_0),C_k)\leq\varepsilon(\theta,x(\theta,\theta),C_k)$, где $\varepsilon_k(\theta,x(\theta,\theta),C_k)$ – значение (34) для случая, когда k-й игрок применяет произвольное допустимое управление, а остальные игроки применяют свои экстремальные управления.

Список литературы

1. **Пассиков, В. Л.** Задача сближения-уклонения для линейных интегродифференциальных систем Вольтерра с управляющими воздействиями под знаком интеграла / В. Л. Пассиков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2011. – № 2. – С. 58–70.
2. **Красовский, Н. Н.** Игровые задачи о встрече движений / Н. Н. Красовский. – М. : Наука, 1970. – 420 с.
3. **Красовский, Н. Н.** Позиционные дифференциальные игры / Н. Н. Красовский, А. И. Субботин – М. : Наука, 1974. – 456 с.
4. **Субботин, А. И.** Оптимизация гарантии в задачах управления / А. И. Субботин, А. Г. Ченцов – М. : Наука, 1981. – 288 с.
5. **Красовский, Н. Н.** Управление динамической системой / Н. Н. Красовский – М. : Наука, 1985. – 518 с.

6. **Осипов, Ю. С.** Дифференциальные игры систем с последействием / Ю. С. Осипов // ДАН СССР. – 1971. – Т. 196, № 4. – С. 779–782.
7. **Осипов, Ю. С.** Альтернатива в дифференциально-разностной игре / Ю. С. Осипов // ДАН СССР. – 1971. – Т. 197, № 5. – С. 1025–1025.
8. **Субботин, А. И.** Экстремальные стратегии в дифференциальных играх с полной памятью / А. И Субботин // ДАН СССР. – 1972. – Т. 206, № 3. – С. 552–555.
9. **Субботин, А. И.** Дифференциальные игры с полной памятью. Экстремальные стратегии в позиционных дифференциальных играх / А. И. Субботин. – Свердловск, 1974. – С. 211–233.
10. **Гороховик, В. В.** О линейных дифференциальных играх нескольких лиц / В. В. Гороховик, Ф. М. Кириллова // Управляемые системы. – 1971. – № 10. – С. 3–9.

Пасиков Владимир Леонидович
кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра математического анализа и информатики, Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) Оренбургского государственного университета

E-mail: pasikov_fmf@mail.ru

Pasikov Vladimir Leonidovich
Candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, sub-department of mathematical analysis and informatics, Orsk Humanitarian Technological Institute, branch of Orenburg State University

УДК 517.977

Пасиков, В. Л.

Игровые задачи наведения для линейных интегродифференциальных систем Вольтерра с управляющими воздействиями под знаком интеграла / В. Л. Пасиков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2012. – № 2 (22). – С. 50–58.