9. *Тамразов П. М.* О вариационных задачах теории логарифмического потенциала // Исследования по теории потенциала.— Киев, 1980.— С. 3—13.— (Препринт / АН УССР. Ин-т математики; 80.25).
10. *Kellog O. D.* Foundations of potential theory — Berlin : Springer, 1929.— 384 p.
11. *Хейман В. К.* Многолистные функции.— М. : Изд-во иностр. лит., 1960.— 180 с.

Ин-т математики АН УССР, Киев Получено 22.07.85

УДК 519.210

Т. С. Иванченко, Л. А. Сахнович

Операторный подход к схеме В. П. Потапова исследования интерполяционных проблем

В последние годы найдены новые плодотворные методы решения классических интерполяционных задач и их обобщений [1—6]. Одним из них является метод В. П. Потапова [3—6]. В настоящей статье проводится унификация схемы В. П. Потапова, опирающаяся на операторные тождества (ОТ) [7]. ОТ позволяют выработать единый подход к формулировке и исследованию интерполяционных задач.

Пусть заданы гильбертовы пространства H, G и G_1, причем

$$G = G_1 \oplus G_1, \quad \dim G_1 < \infty. \tag{1}$$

В дальнейшем будем предполагать, что операторы A, Π, J, S связаны ОТ

$$AS - SA^* = i\Pi J\Pi^*, \tag{2}$$

где A, $S \in [H, H]$, $\Pi \in [G, H]$, $J \in [G, G]$. (Через $[H_1, H_2]$ обозначен класс ограниченных операторов, действующих из H_1 в H_2.) Оператору Π и разложению (1) соответствует представление $\Pi = [\Pi_1, \Pi_2]$, где Π_1, $\Pi_2 \in$ $\in [G_1, H]$.

Предположим дополнительно, что блочное представление J, порожденное разложением (1), имеет вид

$$J = \begin{bmatrix} 0 & E \\ E & 0 \end{bmatrix}, \qquad E \in [G_1, G_1]. \tag{3}$$

Обозначим через N класс операторов из $[H, H]$, спектр которых состоит из конечного или счетного множества точек. Будем предполагать, что $A \in$ $\in N$. Под множеством $\mathfrak{E}$ будем понимать совокупность неубывающих оператор-функций $\sigma(t)$ со значениями в классе $[G_1, G_1]$, для которых в слабом смысле сходятся интегралы

$$S_\sigma = \int_{-\infty}^{+\infty} (E - At)^{-1} \Pi_2 d\sigma(t) \Pi_2^* (E - A^* t)^{-1}, \tag{4}$$

$$J = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{d\sigma(t)}{1 + t^2}. \tag{5}$$

Если $\sigma(t) \in \mathfrak{E}$, то сходится в слабом смысле интеграл [8]

$$\Pi_{1,\sigma} = -i \int_{-\infty}^{+\infty} \left[A(E - tA)^{-1} + \frac{t}{1 + t^2} E \right] \Pi_2 d\sigma(t). \tag{6}$$

Введем операторы

$$\tilde{S} = S_\sigma + FF^*, \; \Pi_1 = \Pi_{1,\sigma} + i(\Pi_2\alpha + F\beta^{1/2}), \tag{7}$$

где α, $\beta \in [G_1, G_1]$, $\alpha = \alpha^*$, $\beta \geqslant 0$, а оператор F определяется равенством

$$AF = \Pi_2 \beta^{1/2}. \tag{8}$$

При этом предполагается, что $F \in [G_1; H]$.

Сформулируем теперь интерполяционную задачу, порождаемую ОТ (2): описать множества $\sigma(t) \in \mathscr{E}$ и $\alpha = \alpha^*$, $\beta \geqslant 0$ такие, чтобы заданные операторы S и Π_1 допускали следующие интегральные представления:

$$S = \tilde{S}, \quad \Pi_1 = \tilde{\Pi}_1. \tag{9}$$

При такой постановке задачи снимается требование статьи [8], в силу которого $\beta = 0$ в случае необратимых A.

Заметим, что в силу (7) для разрешимости задачи необходимо, чтобы

$$S \geqslant 0. \tag{10}$$

Непосредственной подстановкой убеждаемся, что справедлива следующая лемма.

Лемма 1. *Если $A \in N$, $\sigma(t) \in \mathscr{E}$, то оператор $\tilde{S}$ удовлетворяет ОТ*

$$A\tilde{S} - \tilde{S}A^* = i\tilde{\Pi}J\tilde{\Pi}^*, \tag{11}$$

где $\tilde{\Pi} = [\tilde{\Pi}_1, \Pi_2]$.

Из леммы 1 методами линейной алгебры выводится такая лемма.

Лемма 2. *Если $\Pi_2 g \neq 0$ при $g \neq 0$, то из представления $S = \tilde{S}$ следует* $\Pi_1 = \tilde{\Pi}_1$.

Под Ω_z будем понимать точки комплексной плоскости за исключением точек действительной оси. Обозначим через D совокупность чисел $z \in \Omega_z$ таких, что z^{-1} не принадлежит спектру оператора A. Тогда в терминах ОТ абстрактное матричное неравенство можно представить в виде

$$L(z) = \begin{bmatrix} S & B(z) \\ B^*(z) & C(z) \end{bmatrix} \geqslant 0, \qquad z \in D, \tag{12}$$

где $B(z) = (E - Az)^{-1} [\Pi_1 - i\Pi_2 w(z)]$, $C(z) = (w(z) - w^*(z))/(z - \bar{z})$.

Решение неравенства (12) ищется в классе R, состоящем из аналитических при $z \in \Omega_z$ оператор-функций $w(z)$ со значениями в $[G_1, G_1]$, удовлетворяющих условиям

$$w(z) = w^*(\bar{z}), \ (w(z) - w^*(z))/(z - \bar{z}) \geqslant 0. \tag{13}$$

Если $w(z) \in R$, то существует такая неубывающая оператор-функция $\sigma(t)$ со значениями в $[G_1, G_1]$, что интеграл, стоящий в правой части (5), слабо сходится и справедливо представление

$$w(z) = \beta z + \alpha + \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{1}{t - z} - \frac{t}{1 + t^2} \right) d\sigma(t), \quad \alpha = \alpha^*, \ \beta \geqslant 0. \tag{14}$$

Введение оператор-функции $w(z)$ позволяет свести решение поставленной задачи к исследованию следующей интерполяционной проблемы. Заданы операторы A, Π, J, S, связанные операторным тождеством (2). Требуется описать оператор-функции $w(z) \in R$, удовлетворяющие условиям: оператор-функция $\sigma(t) \in \mathscr{E}$ и операторы $\alpha = \alpha^*$, $\beta \geqslant 0$, дающие интегральное представление (14), таковы, что заданные операторы S и Π_1 представимы в виде (9).

Покажем теперь, что решение сформулированной интерполяционной проблемы для $w(z)$ адекватно исследованию соответствующего основного матричного неравенства (ОМН).

Теорема 1. *Пусть $A \in N$, а оператор-функция $w(z)$ определена формулой* (14). *Если $\sigma(t) \in \mathscr{E}$ и существует оператор $F \in [G_1; H]$, удовлетворяющий соотношению* (8), *то справедливо неравенство*

$$\tilde{L}(z) = \begin{bmatrix} \tilde{S} & \tilde{B}(z) \\ \tilde{B}^*(z) & C(z) \end{bmatrix} \geqslant 0, \qquad z \in D, \tag{15}$$

где

$$\tilde{B}(z) = (E - Az)^{-1}[\tilde{\Pi}_1 - i\Pi_2 w(z)]. \tag{16}$$

Доказательство. Непосредственным вычислением проверяется равенство

$$\left(\begin{bmatrix} \tilde{S} & \tilde{B}(z) \\ \tilde{B}^*(z) & C(z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f \\ g \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} f \\ g \end{bmatrix}\right) = [f+g,\ f+g], \tag{17}$$

где символом [ ] обозначено новое скалярное произведение на векторах из $H + G_1$, определенное равенствами

$$[f, f] = \int_{-\infty}^{+\infty} ([d\sigma(t)]\,\Pi_2^*(E - A^*t)^{-1} f,\ \Pi_2^*(E - A^*t)^{-1} f) + (F^*f, F^*f), \tag{18}$$

$$[g, g] = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{(d\sigma(t)\,g, g)}{|t - z|^2} + (\beta^{1/2}g, \beta^{1/2}g), \tag{19}$$

$$[f, g] = \int_{-\infty}^{+\infty} \left([d\sigma(t)]\,\Pi_2^*(E - A^*t)^{-1} f,\ \frac{g}{t - z}\right) + (F^*f, \beta^{1/2}g). \tag{20}$$

Из формул (15)—(20) вытекает утверждение теоремы.

Чтобы вывести обратное утверждение, рассмотрим класс N_0, состоящий из операторов $A \in N$ таких, что при любых $C_1, C_2 \in [G_1, H]$, $g \in G_1$ и некоторых $\delta > 0$, $\varepsilon > 0$ из соотношения $\|(E - Az)^{-1}(C_1 + C_2 z)\,g\| = O(1)$, $\delta \leqslant |\arg z| \leqslant \pi - \delta$, $|z| \geqslant \varepsilon$, следует

$$C_2 = -AC_1 g. \tag{21}$$

Замечание 1. Оператор $A \in N_0$, если выполняется одно из следующих требований:

1) $A \in N$ и при некоторых $\delta > 0$, $\varepsilon > 0$ спектр A лежит в области $\delta \leqslant |\arg z| \leqslant \pi - \delta$, $|z| \geqslant \varepsilon$;

2) спектр A сосредоточен в нуле и при некоторых $\rho > 0$ выполняется $\overline{\lim\limits_{r\to\infty}}\,[\ln M(r)]/r^{\rho} < \infty$, $M(r) = \max\limits_{0\leqslant\theta\leqslant 2\pi} \|(E - Az)^{-1}\|$, $z = re^{i\theta}$.

Лемма 3. *Пусть $A \in N_0$ и ОМН (12) имеет решение $w(z)$ вида* (14), *где $\sigma(t) \in \mathcal{E}$. Тогда справедливо равенство*

$$\Pi_2\beta = -iA(\Pi_1 - \Pi_{1,\sigma} - i\Pi_2\alpha), \tag{22}$$

причем $\sigma(t)$, α, β те же, что и в представлении (14).

Доказательство. При $\beta = 0$, $\alpha = 0$ из теоремы 1 следует, что оператор-функция $w_\sigma(z) = \int_{-\infty}^{+\infty}\left(\frac{1}{t - z} - \frac{t}{1 + t^2}\right) d\sigma(t)$ удовлетворяет неравенству

$$L_\sigma(z) = \begin{bmatrix} S_\sigma & B_\sigma(z) \\ B_\sigma^*(z) & C_\sigma(z) \end{bmatrix} \geqslant 0, \qquad z \in D, \tag{23}$$

где $B_\sigma(z) = (E - Az)^{-1}[\Pi_{1,\sigma} - i\Pi_2 w_\sigma(z)]$, $C_\sigma(z) = (w_\sigma(z) - w_\sigma^*(z))/(z - \bar{z})$.

Из неравенств (12) и (23) вытекает $\|B(z)\,g\|^2 \leqslant \|S\|\,(C(z)\,g, g)$, $\|B_\sigma(z)\,g\|^2 \leqslant S_\sigma\|(C_\sigma(z)\,g, g)$, т. е. при любых $\delta > 0$ и $\varepsilon > 0$ верны соотношения $\|B(z)\,g\| = O(1)$, $\|B_\sigma(z)\,g\| = O(1)$ $\delta \leqslant |\arg z| \leqslant \pi - \delta$, $|z| \geqslant \varepsilon$. Значит, справедливо следующее соотношение: $\|[B(z) - B_\sigma(z)]\,g\| = \|(E - Az)^{-1}(\Pi_1 - \Pi_{1,\sigma} - i\Pi_2\alpha - i\Pi_2\beta z)\,g\| = O(1)$, откуда в силу (21) получаем доказываемое равенство (22).

Из леммы 3 вытекает следующая теорема.

Теорема 2. *Пусть $A \in N_0$ и нуль не является собственным числом A. Если $w(z)$ — решение ОМН (12) вида (14), где $\sigma(t) \in \mathcal{E}$, то существует* *один и только один оператор* $F \in [G_1, H]$, *удовлетворяющий соотношению* (8), *и справедливо представление*

$$\Pi_1 = \tilde{\Pi}_1. \tag{24}$$

Доказательство. Пусть P_β — оператор ортогонального проектирования G_1 на подпространство βG_1. Полагая $Q = \Pi_1 - \Pi_{1,\sigma} - i\Pi_2\alpha$, из леммы 3 выводим, что $Q = QP_\beta$. На подпространстве $P_\beta G_1$ определен оператор $\beta^{-1/2}$. Легко видеть, что согласно (22) оператор

$$F = -iQ\beta^{-1/2}P_\beta \tag{25}$$

удовлетворяет (8). Единственность F очевидна. Умножая обе части (25) на $\beta^{1/2}$, получаем представление (24).

В теореме 2 даны условия, при которых $\Pi_1 = \tilde{\Pi}_1$. Для получения представления $S = \tilde{S}$ воспользуемся преобразованным основным матричным неравенством (ПОМН) [4].

Введем обозначения

$$\mathscr{L}_0(z) = iA(E - Az)^{-1},\ \mathscr{L}_k(z) = (E - Az)^{-1}\Pi_k, \qquad k = 1, 2, \tag{26}$$

$$L_\text{п}(z) = \begin{bmatrix} E & 0 \\ \mathscr{L}_0(\bar{z}) & \mathscr{L}_2(\bar{z}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S & B(z) \\ B^*(z) & C(z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E & \mathscr{L}_0^*(\bar{z}) \\ 0 & \mathscr{L}_2^*(\bar{z}) \end{bmatrix}, \qquad z \in D. \tag{27}$$

Оператор $L_\text{п}(z)$ действует в пространстве $H \oplus H$ и имеет вид

$$L_\text{п}(z) = \begin{bmatrix} S & B_\text{п}(z) \\ B_\text{п}^*(z) & C_\text{п}(z) \end{bmatrix}, \qquad z \in D, \tag{28}$$

где

$$B_\text{п}(z) = S\mathscr{L}_0^*(\bar{z}) + B(z)\mathscr{L}_2^*(\bar{z}), \tag{29}$$

$$C_\text{п}(z) = \mathscr{L}_0(\bar{z})S\mathscr{L}_0^*(\bar{z}) + \mathscr{L}_2(\bar{z})B^*(z)\mathscr{L}_0^*(\bar{z}) +$$

$$+ \mathscr{L}_0(\bar{z})B(\bar{z})\mathscr{L}_2^*(z) + \mathscr{L}_2(\bar{z})C(\bar{z})\mathscr{L}_2^*(\bar{z}). \tag{30}$$

Преобразуя выражение для $C_\text{п}(z)$, получаем равенство

$$C_\text{п}(z) = \frac{i}{z - \bar{z}}[B_\text{п}(z) + B_\text{п}^*(z)]. \tag{31}$$

Из (27) непосредственно следует, что любое решение ОМН (12) является решением ПОМН

$$L_\text{п}(z) = \begin{bmatrix} S & B_\text{п}(z) \\ B_\text{п}(z) & C_\text{п}(z) \end{bmatrix} \geqslant 0, \qquad z \in D. \tag{32}$$

Из (32) следует оценка

$$\| B_\text{п}(z) f \|^2 \leqslant \| S \| (C_\text{п}(z) f, f). \tag{33}$$

С другой стороны, согласно (31) имеем

$$(C_\text{п}(z) f, f) \leqslant \| B_\text{п}(z) f \| \| f \| / | \operatorname{Im} z |. \tag{34}$$

Из (33) и (34) вытекает

$$\| B_\text{п}(z) f \| \leqslant \| S \| \| f \| / | \operatorname{Im} z |. \tag{35}$$

В силу (31), (32) и (35) имеем

$$B_\text{п}(z) = -i \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{d\sigma_\text{п}(t)}{t - z}, \tag{36}$$

где $\sigma_\text{п}(t)$ — неубывающая оператор-функция со значениями в классе $[H, H]$ и

$$\int_{-\infty}^{+\infty} (d\sigma_\text{п}(t) f, f) \leqslant \| S \| \| f \|^2. \tag{37}$$

Пусть сегмент $[\alpha, \beta]$ не содержит особых точек оператор-функции $(E - At)^{-1}$.

Пользуясь формулой обращения, из (29) и (36) получаем

$$\int_{\alpha}^{\beta} d\sigma_{п}(t) = \int_{\alpha}^{\beta} (E - At)^{-1} \Pi_2 d\sigma(t) \Pi_2^* (E - A^* t)^{-1}. \tag{38}$$

Из (37) и (38) вытекает следующая теорема.

Теорема 3. *Если $w(z)$ из класса R является решением ОМН* (12), *то соответствующая оператор-функция $\sigma(t)$ принадлежит классу $\mathfrak{E}$.*

Значит, слабо сходится интеграл, стоящий в правой части (4), причем $\| S_\sigma \| \leqslant \| S \|$.

Теорема 4. *Если ОМН* (12) *имеет решение $w(z)$, $A \in N_0$ и $\Pi_1 = \tilde{\Pi}_1$, то* 1) $\sigma(t) \in \mathfrak{E}$; 2) $A(S - \tilde{S}) = 0$; 3) *если нуль не является собственным числом A, то $S = \tilde{S}$.*

Доказательство теоремы основывается на рассмотрении неравенств (32) и

$$\tilde{L}_{п}(z) = \begin{vmatrix} \tilde{S} & \tilde{B}_{п}(z) \\ \tilde{B}_{п}^*(z) & C_{п}(z) \end{vmatrix} \geqslant 0, \qquad z \in D,$$

где $\tilde{B}_{п}(z) = \tilde{S}\mathcal{L}_0^*(\bar{z}) + \tilde{B}(z)\mathcal{L}_2^*(\bar{z})$. Из (35) и аналогичного соотношения для $\tilde{B}_{п}(z)$ вытекает $\| [B_{п}^*(z) - \tilde{B}_{п}^*(z)] f \| = \| (E - Az)^{-1} A (S - \tilde{S}) f \| = O(1)$ при $|z| \geqslant \varepsilon$, $0 < \delta \leqslant |\arg z| < \pi - \delta$. Полагая $C_1 g = A(S - \tilde{S}) f$, $C_2 g = 0$, из (21) получаем $A^2 (S - \tilde{S}) f = 0$. Значит, $B_{п}^*(z) - \tilde{B}_{п}^*(z) = (E - Az)^{-1} A (S - \tilde{S}) = A(S - \tilde{S})$. Из оценки (35) и последней формулы следуют утверждения теоремы.

Интерполяционную задачу будем называть невырожденной, если оператор S ограничен вместе с обратным. Если оператор S необратим, то такую задачу будем называть вырожденной.

Полное описание решений интерполяционной задачи в невырожденном случае дает следующая теорема.

Теорема 5 [8]. *Пусть оператор S ограничен вместе с обратным, положителен, удовлетворяет соотношению* (2) *и* $\Pi_2 g \neq 0$, *если* $g \neq 0$. *Тогда для того чтобы оператор-функция $w(z)$ являлась решением неравенства* (12), *необходимо и достаточно, чтобы она допускала представление* $w(z) = i [a(z) \mathcal{P}(z) + b(z) Q(z)] [c(z) \mathcal{P}(z) + d(z) Q(z)]^{-1}$, $\operatorname{Im} z > 0$, *где матрица коэффициентов определяется следующим образом:*

$$\begin{bmatrix} a(z) & b(z) \\ c(z) & d(z) \end{bmatrix} = E - iz\Pi^* (E - zA^*)^{-1} S^{-1} \Pi J,$$

$\operatorname{col}[R(z), Q(z)]$ — *неособенная пара, обладающая J-свойством в точках голоморфности z оператор-функций $R(z)$, $Q(z)$.*

Замечание 2. Два важных частных случая рассмотрены в статье [8]: 1) оператор A обратим, т. е. $F = A^{-1}\Pi_2 \beta^{1/2}$; 2) $\beta = 0$, т. е. $F = 0$.

Случаю 1 принадлежит усеченная задача Неванлинны—Пика [8], а случаю 2 — W-разностные ядра, обобщающие разностные ядра [8]. Простейший пример интерполяционной задачи, не принадлежащий случаям 1, 2, можно получить, рассматривая оператор A, обратимый на некотором инвариантном подпространстве.

Замечание 3. В статье [8] методом регуляризации для случаев 1, 2 исследуются и вырожденные задачи. Аналогичные результаты могут быть получены и в общем случае.

1. *Адамян В. М., Аров Д. З., Крейн М. Г.* Аналитические свойства пар Шмидта ганкелева оператора и обобщенная задача Шура—Такаги // Мат. сб.—1977.— **85**, № 2.— С. 33—73.
2. *Нудельман А. А.* Об одной новой проблеме типа проблемы моментов // Докл. АН СССР.— 1977.— **233**, № 5.— С. 792—795.

3. *Ковалишина И. В., Потапов В. П.* Индефинитная метрика в проблеме Неванлинны — Пика // Докл. АН АрмССР.— 1976.— **59**, № 1.— С. 17—21.
4. *Кацнельсон В. Э.* Континуальные аналоги теорем Гамбургера — Неванлинны и основные матричные неравенства классических задач // Теория функций, функцион. анализ и их прил.— 1984.— Вып. 40.— С. 79—90.
5. *Кацнельсон В. Э.* Методы j-теории в континуальных интерполяционных задачах анализа. Ч. 1.— Харьков, 1983.— 249 с.— Деп. в ВИНИТИ, № 171-83.
6. *Березанский Ю. М.* Разложение по собственным функциям самосопряженных операторов.— Киев : Наук. думка. 1965.— 798 с.
7. *Сахнович Л. А.* О подобии операторов // Докл. АН СССР.— 1971.— **200**, № 3.— С. 541—544.
8. *Иванченко Т. С., Сахнович Л. А.* Операторный подход к исследованию интерполяционных задач.— Одесса, 1985.— 63 с.— Деп. в УкрНИИНТИ, № 701.

Одес. ин-т нар. хоз-ва

Получено 30.07.85

УДК 517.944

С. А. Кащенко

Асимптотика установившихся режимов параболических уравнений с быстро осциллирующими по времени коэффициентами и переменной областью определения

Метод усреднения является одним из основных в теории нелинейных колебаний. Проблеме обоснования этого метода (и построения формализма нахождения решений) для обыкновенных дифференциальных уравнений и для некоторых классов уравнений в частных производных посвящено много работ (см., например, [1, 2]). Основными моментами отмеченных исследований являются переход к уравнениям в «стандартной» [1] форме и последующее применение замены переменных Н. М. Крылова — Н. Н. Боголюбова — Ю. А. Митропольского. Для некоторых классов уравнений, однако, не всегда возможен переход от задачи с быстро осциллирующими коэффициентами к уравнению в «стандартной» форме. К таким классам уравнений принадлежат, например, уравнения с запаздыванием. Сведение к «стандартной» форме таких уравнений приводит к неограниченному растяжению промежутка запаздывания. Кроме этого, для уравнений с запаздыванием и для параболических уравнений техника замен Н. М. Крылова — Н. Н. Боголюбова — Ю. А. Митропольского неприменима. В настоящей работе, базирующейся на результатах работ [1, 2], используется метод усреднения для изучения вопроса о существовании и асимптотике установившихся режимов нелинейных параболических уравнений с переменной областью определения и быстро осциллирующими коэффициентами. Изложение ведется таким образом, что все результаты оказываются применимы и для аналогичных уравнений с запаздыванием. Отметим, что исследования основаны на сочетании методов теории колебания [1—3] и методов теории сингулярно возмущенных уравнений [4, 5].

1. Постановка задачи и основные результаты. На отрезке $0 \leqslant x \leqslant 1$ рассмотрим параболическое уравнение

$$\dot{u} = \gamma(\omega t) D u'' + F(\omega t, x, u) \quad (\dot{u} = \partial u/\partial t,\ u' = \partial u/\partial x) \tag{1}$$

с краевыми условиями

$$(u' + B_1(\omega t) u)|_{x=0} = (u' + B_2(\omega t) u)|_{x=1} = 0. \tag{2}$$

Здесь $u \in R^m$, D — положительно определенная $m \times m$-матрица, скалярная функция $\gamma(\tau)$, элементы матриц $B_j(\tau)$ и вектор-функции $F(\tau, x, u)$ являются тригонометрическими многочленами по τ, причем $\gamma(\tau) \geqslant \alpha_0 > 0$, а $F(\tau, x, u)$ обладает достаточной гладкостью по x и u и ее базис частот не зависит от x, u. Основное предположение состоит в том, что па-