DOI:10.26104/IVK.2019.45.557

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ КЫРГЫЗСТАНА, № 2, 2022

МАТЕМАТИКА ИЛИМДЕРИ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

MATHEMATICAL SCIENCES

Алымбаев А.Т., Бапа кызы А.

КВАЗИСЫЗЫКТУУ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫК ТЕҢДЕМЕЛЕРДИН СИСТЕМАСЫНЫН МЕЗГИЛДИК ЧЫГАРЫЛЫШЫ

Алымбаев А.Т., Бапа кызы А.

ПЕРИОДИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ КВАЗИЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

A. Alymbaev, Bapa kyzy A.

PERIODIC SOLUTION OF A SYSTEM OF QUASILINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS

УДК: 517.924

Макалада квазисызыктуу дифференциалдык теңдемелердин системасынын мезгилдик чыгарылышын изилдөө маселеси каралат. Чыгарылышты табуу Галеркиндин ыкмасын колдонуу менен ишке ашырылат. Фурьенин катарынын коэффициенттерине карата квазисызыктуу алгебралык теңдемелердин системасы түзүлүп, анын чыгарылышы удаалаш жакындаштыруу ыкмасы менен табылат. Дифференциалдык теңдемелердин системасы алгебралык теңдемелердин системасына келтирилип, мезгилдик чыгарылыштын бар болушу, жакындаштырылган мезгилдик чыгарылыш менен так чыгарылыштын ортосундагы айырманын ченинин өлчөмү аныкталат. Мезгилдик маселелердин чыгарылыштарынын жашашын жана табуу проблемаларын изилдөө, дифференциалдык теңдеменин теориясынын маанилүү маселелерин бири болуп эсептелет. Макалада Галеркиндин проекциялык методун колдонуп, параметрди кармаган квазисызыктуу дифференциалдык теңдеменин мезгилдик чыгарылышын табуу маселеси каралат. Галеркиндин методу конструктивдүү ыкмалардын классына кирип, маселенин чыгарылышынын жашашын далилдөө менен бирге, чыгарылыштын өзүн же анын жакындаштырылган чыгарылышын табууга мүмкүнчүлүк берет. Маселенин чыгарылышын Фурьенин катары түрүндө изилденент. Дифференциалдык теңдеме Фурьенин катарынын коэффициенттерине карата, квазисызыктуу алгебралык теңдемеге келтирилип, анын чыгарылышы удаалаш жакындаштыруу ыкмасы менен табылат. Алгебралык теңдеменин чечилиши далилденет жана так жакындаштырылган чыгарылыштардын ортосундагы айырманын чени аныкталат. Чектик маселенин чыгарылышынын жалгыздыгы далилденет.

Негизги сөздөр: *квазисызыктуу, дифференциалдык, теңдемелердин системасы, мезгилдик чыгарылыш, Галеркиндин ыкмасы, квазисызыктуу алгебралык теңдемелер, жакындаштырылган чыгарылыш, так чыгарылыш.*

В статье рассматривается задача построения периодического решения системы квазилинейных дифференциальных уравнений методом Галеркина. Построена система квазилинейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов ряда Фурье, доказано существование приближенной периодической решении системы построений методом Галеркина, получена оценка точности между приближенным и точным периодическими решениями. Вопросы исследования существования и приближенного построения решений периодических краевых задач является одной из важных в теории обыкновенных дифференциальных уравнений. В статье рассматривается задача построения периодическое решение системы квазилинейных дифференциальных уравнений содержащий малый параметр, проекционным методом Галеркина. Метод Галеркина относится к класу конструктивных методдов, которая позволяет установливать вопросы существования решений задачи, а также позволяет найти сано – решение или его приближения с большей точности. Решение задачи находится в виде ряда Фурье. Система дифференциальных уравнений сводится к системе квазилинейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов ряда Фурье. Решение системы алгебраических уравнений найдена методом последовательных приближений. Доказано, разрешенность системы алгебраических уравнений. Получена оценка точности между точными и приближенными решениями, периодической краевой задачи. Доказано, единственность решения, периодической краевой задачи.

Ключевые слова: *квазилинейные, дифференциальные, система уравнений, периодическое решение, метод Галеркина, квазилинейные алгебраические уравнения, приближенное решение, точное решение.*

The article considers the problem of constructing a periodic solution of a system of quasilinear differential equations by the Galerkin method. A system of quasilinear algebraic equations is constructed with respect to the coefficients of the Fourier series, the existence of an approximate periodic solution of the system of constructions by the Galerkin method is proved, an estimate of the accuracy between the approximate and exact periodic solutions is obtained. Questions of studying the existence and approximate construction of solutions to periodic boundary value problems are one of the most important in the theory of ordinary differential equations. The article deals with the problem of constructing a periodic solution of a system of quasilinear differential equations containing a small parameter using the Galerkin projection method. The Galerkin method belongs to the class of constructive methods, which allows you to establish questions of the existence of solutions to the problem, and also allows you to find a sano-solution or its approximations with greater accuracy. The solution of the problem is in the form of a Fourier series. The system of differential equations is reduced to a system of quasi-linear algebraic equations with respect to the coefficients of the Fourier series. The solution of the system of algebraic equations is found by the method of successive approximations. It is proved that the system of algebraic equations is solvable. An estimate of the accuracy between exact and approximate

DOI:10.26104/IVK.2019.45.557

solutions of a periodic boundary value problem is obtained. It is proved that the uniqueness of the solution of the periodic boundary value problem.

Key words: *quasi-linear, differential, system of equations, periodic solution, Galerkin method, quasi-linear algebraic equations, approximate solution, exact solution.*

2π-мезгилдик, дифференцирленүүчү, үзгүлтүксүз $f(t,x,\varepsilon)$ функциясы үчүн төмөндөгүдөй нормаларды карайбыз

$$|f|_r = \max_{\mathcal{T}\times D\times\mathcal{E}} \left\|f^{(r)}(t,x,\varepsilon)\right\| \quad (r=0, r=1), \qquad \|f\|_0 = \left[\frac{1}{2}\int_0^{2\pi} \|f\|^2\, dt\right]^{\frac{1}{2}}.$$

$\psi(\mathrm{t})$ 2π-мезгилдик функциясы үчүн Фурьенин катарын карайлы

$$\psi(t) = C_0 + \sqrt{2}\sum_{k=1}^{m}(c_k coskt + d_k sinkt).$$

Мезгилдик функциялардын көптүгүндө $S_m = S_m\psi(t)$ оператору аныкталып, анын таасири төмөндөгүдөй формуланын жардамы менен аныкталсын

$$S_m\psi(t) = C_0 + \sqrt{2}\sum_{k=1}^{m}(c_k coskt + d_k sinkt), \tag{1}$$

[1] иштин негизинде $\psi(\mathrm{t})$ мезгилдик функциясы үчүн $\psi(\mathrm{t}) - S_m\psi(t)$ айырмасынын чени

$$|\psi(t) - S_m\psi(t)|_0 \le \sigma(m)|\psi'(t)|_0, \tag{2}$$

формула менен аныкталат. Мында

$$\sigma(m) = \sqrt{2}[(m+1)^{-1} + (m+2)^{-1} + \cdots \dots] \quad ,$$
$$\frac{\sqrt{2}}{m+1} < \sigma(m) < \frac{\sqrt{2}}{m}, \quad \sigma(0) = \frac{\pi}{3}.$$

Дифференциалдык теңдемелердин системасын карайлы

$$\frac{dx}{dt} = Ax + \mathcal{F}(t,x) + H(t,x,\varepsilon), \tag{3}$$

мында A-турактуу матрица, $\mathcal{F}(t,x), H(t,x,\varepsilon)$, t-чоңдугу боюнча 2π-мезгилдүү функциялар жана $\mathcal{F}(\mathrm{t},0) = 0$, $H(t,x,0) = 0$, $\varepsilon -$ кичине параметр.

$S = S_m$операторун (3) системага колдонобуз, анда

$$\frac{dx_m(t,\varepsilon)}{dt} = Ax_m(t,\varepsilon) + \mathcal{F}_m\big(t, x_m(t,\varepsilon)\big) + H_m(t, x_m(t,\varepsilon),\varepsilon)\,, \tag{4}$$

мында $x_m = S_m x$, $\mathcal{F}_m = S_m\mathcal{F}$, $H_m = S_m H$.

(4) дөн

$$\sqrt{2}\sum_{k=1}^{m}(-ka_k sinkt + kb_k coskt) = A\left[a_0 + \sqrt{2}\sum_{k=1}^{m}(a_k coskt + b_k sinkt)\right] + \mathcal{F}_0 +$$
$$+\sqrt{2}\sum_{k=1}^{m}(\mathcal{F}_k coskt + G_k sinkt) + H_0 + \sqrt{2}\sum_{k=1}^{m}(H_k coskt + \Phi_k sinkt), \tag{5}$$

$$\mathcal{F}_0 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\mathcal{F}(t,x_m)\,dt\,, \quad \mathcal{F}_k = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\mathcal{F}(t,x_m)\,cosktdt\,,$$

DOI:10.26104/IVK.2019.45.557

$$G_k = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \mathcal{F}(t, x_m)\, sinktdt,$$

$$H_0 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} H(t, x_m, \varepsilon)\, dt, \ \ H_k = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} H(t, x_m, \varepsilon) coskt\, dt,$$

$$\Phi_k = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} H(t, x_m, \varepsilon) sinkt\, dt.$$

(5) барабардыктан

$$S_m x = a_0 + \sqrt{2}\sum_{k=1}^{m} (a_k coskt + b_k sinkt),$$

жекече сумманын коэффициенттерине карата теңдемелердин системасын алабыз

$$Aa_0 + \ \ \mathcal{F}_0 + H_0 = 0,$$

$$ka_k + Ab_k + G_k + \Phi_k = 0,$$

$$-kb_k + Aa_k + \mathcal{F}_k + H_k = 0.$$

Системаны матрицалык формада жазабыз

$$D^{(m)}\alpha + F_1^{(m)}(\alpha) + F_2^{(m)}(\alpha, \varepsilon) = 0\,, \qquad (6)$$

мында

$$D^{(m)} = \begin{pmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & k & A \\ 0 & A & -k \end{pmatrix}, \qquad F_1^{(m)}(\alpha) = \begin{pmatrix} \mathcal{F}_0 \\ G_k \\ \mathcal{F}_k \end{pmatrix}, \qquad F_2^{(m)}(\alpha, \varepsilon) = \begin{pmatrix} H_0 \\ \Phi_k \\ H_k \end{pmatrix}, \ \ \alpha = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_k \\ b_k \end{pmatrix} \qquad k = 1,2,3, \dots, m.$$

$\hat{x} = \hat{x}(t, \varepsilon)$ (3) теңдеменин мезгилдик чыгарылышы болсун дейли.

$\hat{x}_m(t, \varepsilon) = S_m \hat{x}(t, \varepsilon)$ деп эсептеп, $\hat{x}(t, \varepsilon)$ функциясы үчүн, төмөндөгүдөй барабардыкты алабыз

$$\frac{d\hat{x}_m}{dt} = S_m\big(A\hat{x} + \mathcal{F}(t, \hat{x}) + H(t, \hat{x}, \varepsilon)\big) = S_m\big(A\hat{x}_m + \mathcal{F}(t, \hat{x}_m) + H(t, \hat{x}_m, \varepsilon)\big) +$$

$$+ S_m\big(\hat{\mathcal{F}} - \hat{\mathcal{F}}_m\big) + S_m\big(\hat{H} - \hat{H}_m\big). \qquad (7)$$

(7) барабардык

$$D^{(m)}\hat{\alpha}_m + F_1^{(m)}(\hat{\alpha}_m) + F_2^{(m)}(\hat{\alpha}_m, \varepsilon) = -\Big(\rho_1^{(m)} + \rho_2^{(m)} + \rho_3^{(m)}(\varepsilon)\Big) \qquad (8)$$

алгебралык теңдемеге эквиваленттүү.

$\rho_1^{(m)}, \rho_2^{(m)}, \rho_3^{(m)}(\varepsilon)$ чоңдуктары $S_m(A(\hat{x} - \hat{x}_m), S_m\big(\hat{\mathcal{F}} - \hat{\mathcal{F}}_m\big), S_m\big(\hat{H} - \hat{H}_m\big)$ функцияларынын Фурьенин коэффициенттеринен түзүлгөн векторлор.

$$\hat{\mathcal{F}}(t, x) - \hat{\mathcal{F}}(t, \hat{x}_m) = \int_0^1 \frac{\partial\hat{\mathcal{F}}\big(t, \hat{x}_m + \theta(x - x_m)\big)}{\partial x}(\hat{x} - \hat{x}_m)\, d\theta,$$

$$\hat{H}(t, x, \varepsilon) - \hat{H}(t, \hat{x}_m, \varepsilon) = \int_0^1 \frac{\partial H(t, \hat{x}_m + \theta(\hat{x} - \hat{x}_m), \varepsilon)}{\partial x}(\hat{x} - \hat{x}_m)\, d\theta,$$

жазылыштарга, (2) жана Шварцтын барабарсыздыктарын колдонуп, төмөндөгүдөй чектөөчү баалоолорду алабыз

DOI:10.26104/IVK.2019.45.557

$$\left\|\rho_1^{(m)}\right\| \leq |Ax + \mathcal{F} + H|_0 \sigma_1(m)\,, \tag{9}$$

$$\left\|\rho_2^{(m)}\right\| \leq |\mathcal{F}|_1 |Ax + \mathcal{F} + H|_0 \sigma_1(m)\,, \tag{10}$$

$$\left\|\rho_3^{(m)}\right\| \leq |H|_1 |Ax + \mathcal{F} + H|_0 \sigma_1(m)\,. \tag{11}$$

$$\sigma_1(m) = (m+1)^{-1}.$$

$\hat{\alpha}_m = \hat{\alpha}_m(\varepsilon)$ векторду (6) теңдеменин жакындаштырылган чыгарылышы жана $detD^{(m)} \neq 0, m \to \infty$ эске алып, (8) теңдемени төмөндөгүдөй түрдө жазып алабыз

$$\hat{\alpha}_m + \left[D^{(m)}\right]^{-1}\left[F_1^{(m)}(\hat{\alpha}_m) + F_2^{(m)}(\hat{\alpha}_m, \varepsilon)\right] = -\left[D^{(m)}\right]^{-1}\left(\rho_1^{(m)} + \rho_2^{(m)} + \rho_3^{(m)}\right).$$

Мындан, (9), (10), (11) барабарсыздыктардын негизинде

$$\left\|\hat{\alpha}_m + \left[D^{(m)}\right]^{-1}\left[F_1^{(m)}(\hat{\alpha}_m) + F_1^{(m)}(\hat{\alpha}_m, \varepsilon)\right]\right\| \leq M(|\mathcal{F}|_1 + |H|_1)\sigma_1(m)|Ax + \mathcal{F} + H|_0,$$

$$\left\|(D^{(m)})^{-1}\right\| = M, \tag{12}$$

m_0 санын өтө чоң кылып тандап алып, $m \geq m_0$ үчүн $\sigma_1(m) = \frac{1}{m+1} < \frac{1}{m_0+1} = \sigma_1(m_0)$ болгондуктан, (12) барабарсыздыктан

$$\left\|\hat{\alpha}_m + \left[D^{(m)}\right]^{-1}\left[F_1^{(m)}(\hat{\alpha}_m) + F_1^{(m)}(\hat{\alpha}_m, \varepsilon)\right]\right\| \leq MK|Ax + \mathcal{F} + H|_0 \sigma_1(m_0) = \eta, \tag{13}$$

барабарсыздыгын алууга болот. Мында $K = |\mathcal{F}|_1 + |H|_1$.

$detD^{(m)} = -k^2|A| \neq 0$ болгондуктан (6) теңдемени

$$\alpha = -\left[D^{(m)}\right]^{-1}\left[F_1^{(m)}(\alpha) + F_2^{(m)}(\alpha, \varepsilon)\right], \tag{14}$$

түрүндө жазып алабыз, жана анын чыгарылышын удаалаш жакындаштыруу методу менен табабыз

$$\alpha_{k+1} = -\left[D^{(m)}\right]^{-1}\left[F_1^{(m)}(\alpha_k) + F_2^{(m)}(\alpha_k, \varepsilon)\right], \quad k = 0,1,2,.... \tag{15}$$

$\alpha_0(\varepsilon) = \hat{\alpha}_m(\varepsilon)$ деп алып, $k = 0$ үчүн (14) дөн

$$\alpha_1 - \alpha_0 = \alpha_1 - \hat{\alpha}_m = -\left[\hat{\alpha}_m + \left(D^{(m)}\right)^{-1}\left(F_1^{(m)}(\hat{\alpha}_m) + F_2^{(m)}(\hat{\alpha}_m, \varepsilon)\right)\right] =$$

$$= -\left[D^{(m)}\right]^{-1}(\rho_1^{(m)} + \rho_2^{(m)} + \rho_3^{(m)}(\varepsilon))$$

барабардыгын алабыз. (13) чектөөнүн негизинде

$$\|\alpha_1 - \alpha_0\| \leq MK|Ax + \mathcal{F} + H|_0 \sigma_1(m_0) = \eta, \tag{16}$$

чектөөсүн алууга болот.

$\alpha_{k+1} - \alpha_k$ айырмасын төмөндөгүдөй түрдө жазып алабыз

$$\alpha_{k+1} - \alpha_k = -\left(D^{(m)}\right)^{-1}\int_0^1\left[\frac{\partial F_1^{(m)}(\alpha_{k-1} + \theta(\alpha_k - \alpha_{k-1}))}{\partial \alpha} + \frac{\partial F_2^{(m)}(\alpha_{k-1} + \theta(\alpha_k - \alpha_{k-1}), \varepsilon)}{\partial \alpha}\right](\alpha_k - \alpha_{k-1})d\theta$$

$m \geq m_0$ үчүн

DOI:10.26104/IVK.2019.45.557

$$\left\| \frac{\partial F_1^{(m)}}{\partial \alpha} + \frac{\partial F_2^{(m)}(\alpha,\varepsilon)}{\partial \alpha} \right\| \le \frac{\chi}{M}, \qquad 0 < \chi < 1$$

шарты аткарылсын дейли, анда (16) дан

$$\|\alpha_{k+1} - \alpha_k\| \le M \cdot \frac{\chi}{M} \|\alpha_k - \alpha_{k-1}\| \le \chi \|\alpha_k - \alpha_{k-1}\|, \qquad M = \left\| \left(D^{(m)}\right)^{-1} \right\|$$

барабарсыздыгын алабыз. (16) чектөөнү эске алып

$$\|\alpha_{k+1} - \alpha_k\| \le \chi^k \|\alpha_1 - \alpha_0\| \le \chi^k MK |Ax + \mathcal{F} + H|_0 \sigma_1(m_0) = \eta. \qquad (17)$$

$k = 0,1,2, \dots$.

$$\|\alpha_{k+p} - \alpha_k\| \le \|\alpha_{k+p} - \alpha_{k+p-1} + \alpha_{k+p-1} - \alpha_{k+p-2} + \dots + \alpha_{k+1} - \alpha_k\| \le$$

$$\le \chi^k(\chi^{p-1} + \chi^{p-2} + \dots + \chi + 1)\eta \le \chi^k(1 + \chi + \dots + \chi^{p-1} + \dots)\eta = \frac{\chi^k \eta}{1-\chi}.$$

Ошентип

$$\|\alpha_{k+p} - \alpha_k\| \le \frac{\chi^k}{1-\chi} MK|Ax + \mathcal{F} + H|_0 \sigma_1(m).$$

Мындан $p \to \infty$, (15) удаалаштыктын бир калыпта жыйналаарына ынанабыз жана

$$\|\alpha - \alpha_k\| \le \frac{\chi^k}{1-\chi} MK|Ax + \mathcal{F} + H|_0 \sigma_1(m), \qquad (18)$$

барабарсыздыгын алабыз. $\alpha_0 = \hat{\alpha}_m$ экенин эске алып, (18) барабарсыздыктан, $k = 0$ болгон учурда $m \ge m_0$ үчүн

$$\|\alpha - \hat{\alpha}_m\| \le \frac{MK|Ax + \mathcal{F} + H|_0 \sigma_1(m_0)}{1-\chi} = \frac{\eta}{1-\chi} = \delta_1 \qquad (19)$$

чектөөнү алууга болот. $\alpha = \bar{\alpha}_m(\varepsilon)$- аркылуу белгилеп, жана

$\bar{\alpha}_m(\varepsilon) = \bar{a}_0(\varepsilon), \bar{a}_1(\varepsilon), \bar{b}_1(\varepsilon), \dots, \bar{a}_m(\varepsilon)$ экендигин эске алып, (3) дифференциалдык теңдемелердин системасынын Галеркиндин ыкмасы боюнча аныкталган 2π мезгилдүү жакындаштырылган чыгарылышын жазууга болот.

$$\bar{x}_m(t,\varepsilon) = \bar{a}_0(\varepsilon) + \sqrt{2}\sum_{n=1}^{m}\left(\bar{a}_k(\varepsilon)coskt + \bar{b}_k(\varepsilon)sinkt\right).$$

$\|\bar{\alpha}_m - \hat{\alpha}_m\| = \|\bar{x}_m - \hat{x}_m\|_0$ болгондуктан, (19) барабарсыздыктан

$$\|\bar{x}_m(t,\varepsilon) - \hat{x}_m(t,\varepsilon)\|_0 \le \frac{MK|Ax + \mathcal{F} + H|_0 \sigma(m)}{1-\chi}, \qquad (20)$$

чектөөсүн алабыз.

$$\|\hat{x} - \bar{x}_m\|_0 = |\hat{x} - \hat{x}_m + \hat{x}_m - \bar{x}_m|_0 \le |\hat{x} - \hat{x}_m|_0 + |\hat{x}_m - \bar{x}_m|_0 \qquad (21)$$

айырманын ченин табалы.

(2) барабарсыздыктын негизинде

$$|\,\hat{x}(t,\varepsilon) - \hat{x}_m(t,\varepsilon)|_0 \le |\,\hat{x}'(t,\varepsilon))|_0\, \sigma(m) \le |Ax + \mathcal{F} + H|_0 \sigma(m), \qquad (22)$$

чектөөнү алууга болот.

(20), (22) барабарсыздыктарын эске алып, (21) чектөөдөн

DOI:10.26104/IVK.2019.45.557

$$|\,\hat{x}(t,\varepsilon)-\bar{x}_m(t,\varepsilon)|_0 \le \frac{MK|Ax+\mathcal{F}+H|_0\sigma(m)}{(1-\chi)(m+1)}+|Ax+\mathcal{F}+H|_0\sigma(m),$$

барабарсыздыгын алабыз.

$$\sigma(m)<\frac{\sqrt{2}}{m} \text{ жана } \frac{1}{m+1}<\frac{\sqrt{2}}{m} \text{ болгондуктан,}$$

$$|\,\hat{x}(t,\varepsilon)-\bar{x}_m(t,\varepsilon)|_0 \le \frac{\sqrt{2}}{m}\left(\frac{MK}{(1-\chi)}+1\right)|Ax+\mathcal{F}+H|_0,$$

чектөөнүн далилдөөсүн алабыз.

Жогорудагылардын баардыгын жыйынтыктап, төмөндөгүдөй теореманы келтирсек болот.

Теорема. (3) системанын $2\pi-$ мезгилдүү $\hat{x}(t,\varepsilon)$ чыгарылышы бар болсун жана төмөндөгүдөй шарттар аткарылсын

а) $S_m\hat{x}(t,\varepsilon)=\hat{x}_m(t,\varepsilon)=\hat{a}_0(\varepsilon)+\sqrt{2}\sum_{k=1}^{m}\left(\hat{a}_k(\varepsilon)coskt+\hat{b}_k(\varepsilon)sinkt\right)$;

б)

$$\left\|\frac{\partial F_1^{(m)}(\alpha)}{\partial\alpha}+\frac{\partial F_2^{(m)}(\alpha,\varepsilon)}{\partial\alpha}\right\|\le\frac{\chi}{M},\quad 0<\chi<1,\ M=\left\|\left(D^{(m)}\right)^{-1}\right\|;$$

в) $\left\|\hat{\alpha}_m+\left(D^{(m)}\right)^{-1}\left(F_1^{(m)}(\hat{\alpha}_m)+F_2^{(m)}(\alpha_m,\varepsilon)\right)\right\|\le MK|Ax+\mathcal{F}+H|_0\sigma(m),\ m\ge m_0$,

$$K=|\mathcal{F}|_1+|H|_1,\quad \sigma(m)<\frac{\sqrt{2}}{m},\ \frac{1}{m+1}<\frac{\sqrt{2}}{m}.$$

Анда квазисызыктуу (6) алгебралык теңдеме жалгыз чыгарылышка

$\bar{\alpha}_m(\varepsilon)=(\bar{a}_0(\varepsilon),\bar{a}_1(\varepsilon),\bar{b}_1(\varepsilon),\dots,\bar{a}_m(\varepsilon),\bar{b}_m(\varepsilon))$ ээ болот.

(3) системанын Галеркиндин методу боюнча табылган $2\pi-$ мезгилдүү чыгарылышын

$$\hat{x}(t,\varepsilon)=\bar{a}_0(\varepsilon)+\sqrt{2}\sum_{k=1}^{m}\left(\bar{a}_k(\varepsilon)coskt+\bar{b}_k(\varepsilon)sinkt\right)$$

формуласы аркылуу жазып, системанын так $\hat{x}(t,\varepsilon)$ чыгарылышы менен жакындаштырылган чыгарылышынын ортосундагы айырманын чени

$$|\,\hat{x}(t,\varepsilon)-\bar{x}_m(t,\varepsilon)|_0\le\frac{\sqrt{2}}{m}\left(\frac{MK}{(1-\chi)}+1\right)|Ax+\mathcal{F}+H|_0,$$

чектөсү аркылуу аныкталат.

Адабияттар:

1. Урабе М. Метод Галеркина для нелинейных периодических систем. - Механика, 1966, 97, №3, с.3-34.
2. Кондратьева А.А**.** Численно-аналитические методы локализации предельных циклов в математических моделях нелинейной динамики. Учебное пособие. - М.: Издательство «Доброе слово», 2019. - 48с.
3. Алымбаев А.Т., Нуржанов О.А. Численно-аналитический метод исследований автономных систем интегро-дифференциальных уравнений // Укр.мат.журн., 1979. - Т. 31. - №5. - С. 540-547.
3. Алымбаев А.Т. Численные, численно-аналитические и асимптотические методы исследования краевых задач. - Бишкек: Издательство КНУ, 2015. - 205 с.
4. Алымбаев А.Т. Об одном приближенном методе исследования линейной краевой задачи для системы квазилинейных дифференциальных уравнений. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2017. - №. 5. - С. 63-68
5. Урдалетова А.Б., Малайбек кызы Н. Принцип максимума для решений одного класса функциональных квазилинейных параболических уравнений. Известия ВУЗов Кыргызстана. 2019. №. 9. - С. 15-19.