ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАРЫ
ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ
NATURAL SCIENCES

ӘОЖ 522.17

А.А.Көпжасарова*, А.Е. Жаксанова, Г.Қ.Тағай
PhD докторы, аға оқытушы, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
т.ғ.к., аға оқытушы , М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
аға оқытушы, М.Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
***Корреспондент авторы:** Asyl_k@mail.ru

БІРТЕКТІ ТЕҢДЕУ ҮШІН КОШИ ЕСЕБІНІҢ ШЕШІМІ

Түйін

Көптеген маңызды жағдайларда системаның t сәтіндегі жай күйін $\overrightarrow{x(t)}$ сансалалы векторы арқылы өрнектеген қолайлы. Бұл вектордың өзгеру жылдамдығы t -уақытқа және оның өзіне біз мынадай $\frac{\overrightarrow{dx(t)}}{dt} = g(\vec{x}, t), \overrightarrow{x(0)} = \vec{c}$ дифференциалдық теңдеуге келеміз. Мұндағы негізгі зерттелетін мәселелер мыналар - әртүрлі бастапқы шарттар үшін теңдеудің бірегей шешімінің бар болуының шарттары және екі немесе көп нүктелі шекаралық есептердің *бірегей* шешімдерінің болуының шарттары (қажетті, жеткілікті немесе қажетті әрі жеткілікті), коэффициенттері тұрақты және айнымалы сызықтық теңдеулердің шешімдерінің өзгерістері, сызықтық және бейсызықтық теңдеулерінің шешімдерінің орнықтылығы.

Осы қарапайым теңдеуді талдау арқылы, қажырлы және терең зерттеулер нәтижесінде физикалық құбылыстар туралы көптеген маңызды деректерді аламыз. Сонымен бірге біздің қолымызда бұл теңдеуді жуықтап шешетін әдістер мен мәшинелердің түр-түрі бар.

Кілттік сөздер: шекаралық шарттар, аргументті ауытқыған теңдеулер, бірегейлік, біртіндеп жуықтау, шешімнің орнықтылығы.

Аргументі ауытқыған теңдеулерді қарастырайық. Олар өз кезегінде екіге бөлінеді аргументі қалыс және аргументі озық болып. Соңғы кездері мұндай теңдеулерді функционал- дифференциалдық теңдеулер деп атап жүр.

Есептің қойылымы

Біртекті теңдеу үшін қойылған Кошидің есебін біртіндеп жуықтау әдісімен шешейік.

Бұл үшін есептің берілгенін және шартын жазып

$$\begin{cases} y'(t) = \lambda y(\frac{t}{2}), 0 < t \le 1 \\ y(0) = y_0 \ne 0 \end{cases} \tag{1}$$

есепті алдымен интегралдық теңдеу түріне келтірейік. Ол үшін (1.1) теңдеудің екі жағын да $\left[0, \frac{t}{2}\right]$ аралығында интегралдап берілген шартты ескеріп, келесі түрге келтіреміз;

$$y(\frac{t}{2}) = y_0 + \lambda\int_0^{\frac{t}{2}} y(\frac{\xi}{2})d\xi = \left| \begin{array}{l} \frac{\xi}{2} = s \\ \xi = 2s \\ d\xi = 2ds \end{array} \right| = y_0 + \lambda\int_0^{\frac{t}{4}} y(s)ds \cdot 2 = y_0 + 2\lambda\int_0^{\frac{t}{4}} y(s)ds;$$

Енді $\frac{t}{2}$ орнына t - қойсақ, ал $2\lambda = \mu$ десек, келесі теңдеуді интегралды теңдеуді аламыз

$$y(t) = y_0 + \mu\int_0^{\frac{t}{2}} y(s)ds, 0 \le t \le 1$$

Дәл осындай теңдеуді басқа жолмен де алуға болады. Ол үшін

$$u(t) = y(\frac{t}{2}), 0 \le t \le 2$$

алмастыруын жасасақ жеткілікті, нәтижесінде мынадай,

$$u(t) = u_0 + \lambda\int_0^{\frac{t}{2}} u(\xi)d\xi, u(0) = u_0 = y(0) = y_0 \qquad (2)$$

теңдеу аламыз. Енді осы (2) интегралдық теңдеуді біртіндеп жуықтау әдісімен шешейік.

Бастапқы жуық шешім ретінде u_0 шамасын алайық, ал кейінгілерін мына

$$u_n(t) = \lambda\int_0^{\frac{t}{2}} u_{n-1}(s)ds, n = 1, 2, ...$$

формула арқылы табайық. Сонда

$$u_1(t) = \lambda\int_0^{\frac{t}{2}} u_0 d\xi = \lambda u_0 \cdot \frac{t}{2},$$

$$u_2(t) = \lambda\int_0^{\frac{t}{2}} \lambda u_0 \frac{s}{2} ds = \lambda^2 \frac{u_0}{2}\frac{s^2}{2}\Big|_0^{\frac{t}{2}} = \frac{\lambda^2 u_0}{2}\cdot\frac{t^2}{8} = \frac{u_0\lambda^2 t^2}{16};$$

$$u_3(t) = \lambda \cdot y_0 \cdot \frac{\lambda^2}{16}\int_0^{\frac{t}{2}} s^2 ds = \lambda u_0 \cdot \frac{\lambda^2}{3}\cdot\frac{t^3}{2^3} = u_0 \frac{(\lambda t)^3}{3!2^1 2^2};$$

$$u_3(t) = \lambda \cdot y_0 \cdot \frac{\lambda^2}{16}\int_0^{\frac{t}{2}} s^2 ds = \lambda u_0 \cdot \frac{\lambda^2}{3}\cdot\frac{t^3}{2^3} = u_0 \frac{(\lambda t)^3}{3!2^1 2^2};$$

Енді математикалық индукциясы әдісіне салып шығарсақ

$$u_{n-1}(t) = \frac{u_0}{(n-1)!2^1 \cdot 2^2,...,2^{n-2}}(\frac{\lambda t}{2})^{n-1}$$

және келесіде болады деп жорысақ, онда

$$u_n(t) = \lambda \cdot \frac{u_0}{(n-1)!2^1 \cdot 2^2,...,2^{n-2}} \cdot \frac{\lambda^{n-1}}{2^{n-1}} \cdot \frac{1}{2}(\frac{t}{2})^n = \\ = \frac{u_0}{(n-1)!2^1 2^2,...,2^{n-1}} \cdot (\frac{\lambda t}{2})^n = \frac{u_0}{(n)!2^{\frac{(n+1)n}{2}}}(\lambda t)^n \quad (3)$$

боларын көреміз, демек жоруымыз дұрыс екен.
Егер де

$$S_N(\xi) = u_0 + u_1(\xi) + ... + u_N(\xi)$$

болса, онда

$$\int_0^{\frac{t}{2}} S_N(\xi)d\xi = u_0 + \int_0^{\frac{t}{2}}[u_0 + u_1(\xi) + ... + u_N(\xi)]d\xi = u_0 + \\ + u_1(t) + u_2(t) + ... + u_{N+1}(t) = S_{N+1}(x)$$

Енді $\sum_{n=0}^{\infty} u_n(t)$ функционалдық қатарды зерттейік:кез келген μ мен t үшін

$$\frac{|u_n|}{|u_{n-1}|} = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{2}|\mu t \to 0, n \to \infty|$$

Демек, кез келген $|\mu t| < R, R > 0$ дөңгелегі ішінде бұл қатар абсолютті әрі бірқалыпты жинақталады. Сондықтан жоғарыдағы фоомулада $N \to \infty$ сәтінде шекке көшуге болады. Сонда іздеген шешіміміз келесідей :

$$u(t,\lambda) = u_0 \cdot \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{(\lambda t)^n}{n! \cdot 2^{\frac{n(n+1)}{2}}} \quad (4)$$

болады.

Ескерту 1. Егер

$$|\lambda| < \frac{1}{\sqrt{2}}$$

болса, онда Кошидің (1)-(2) есебінің (4) шешімінен басқа шешімі жоқ. Мұны біз бірегейлік теоремасынан көріп отырмыз. Әзірге

$$|\lambda| > \frac{1}{\sqrt{2}}$$

жағдайы туралы білетініміз, кемінде бір шешім бар және ол (4) формула арқылы табылады, басқа мәлімет жоқ.

Теорема 1.1. Егер $|\lambda| < \frac{1}{\sqrt{2}}$ болса, онда Кошидің мына

$$\begin{cases} y'(t) = \lambda y(\frac{t}{2}), o < t \le 1 \\ y(0) = 0 \end{cases}$$

есебінің нөлден өзгеше шешімі жоқ.

Бұл біздің ең алғашқы нәтижеміз. Есептің басқа шешімдері де болуы мүмкін ғой. Сол жағын зерттеп көрсек, дәрежелік қатарлар әдісімен шешіп көрсекте болады.

Егер $|\lambda| < \frac{1}{\sqrt{2}}$ болса, онда жоғарыдағы 1.1. теорема бойынша (1)-(2) Коши есебінің тек бір ғана шешімі болуы мүмкін, енді сол шешімді дәрежелік қатарлар әдісімен іздеп көрелік.

Біздің есебіміз мынадай:

$$\begin{cases} y'(t) = \lambda y(\frac{t}{2}), 0 < t \le 1 \\ y(0) = y_0 \ne 0 \end{cases} \tag{1.1}$$

еді. Осы есептің шешімін мына түрде

$$y(t,\lambda) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k (\lambda t)^k \tag{1.5}$$

іздеп көрелік, мұндағы $a_k (k = 0,1,2,...)$ дегендеріміз әзірге белгісіз коэффициенттер. Осы (5) өрнекті (1) теңдеуге апарып қойып, λt-ның бірдей дәрежелерінің коэффициенттерін теңестірсек белгісіз a_k коэффициенттері үшін рекурентті формулалар аламыз. Енді рет-ретімен жазайық

$$\sum_{k=1}^{\infty} ka_k (\lambda t)^{k-1} \cdot \lambda = \lambda \sum_{k=0}^{\infty} a_k (\frac{\lambda t}{2})^k = \lambda \cdot \sum_{k=0}^{\infty} a_k \frac{\lambda^k t^k}{2^k}$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} ka_k (\lambda t)^{k-1} \cdot \lambda = \lambda \sum_{k=0}^{\infty} a_k \frac{(\lambda t)^k}{2^k}$$

Теңдіктің екі жағын да λ-ға қысқартайық, сонда

$$\sum_{k=1}^{\infty} ka_k (\lambda t)^{k-1} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{a_k}{2^k} (\lambda t)^k$$

Бірдей дәрежелерге көшу мақсатында сол жақта $k-1=m$ деген алмастыру жасасақ және оң жағында да k -ны m арқылы ауыстырсақ

$$\sum_{m=0}^{\infty}(m+1)a_{m+1}(\lambda t)^m = \sum_{m=0}^{\infty}\frac{a_m}{2^m}(\lambda t)^m$$

Енді $(\lambda t)^m$ дәрежелерінің коэффициенттерін теңестірсек

$$(m+1)a_{m+1} = \frac{a_m}{2^m}, a_{m+1} = \frac{a_m}{(m+1)\cdot 2^m}, \Rightarrow$$

$$a_{m+1} = \frac{a_m}{(m+1)\cdot 2^m} = \frac{a_{m-1}}{(m+1)2^m\cdot m\cdot 2^{m-1}} = \ldots = \frac{a_1}{(m+1)!\cdot 2^{\frac{(m+1)m}{2}}}$$

Демек, $a_1 = a_0 = y_0$ және

$$y(t,y) = y_0 + \sum_{k=1}^{\infty}a_k(\lambda t)^k = y_0 + \sum_{k=1}^{\infty}\frac{y_0(\lambda t)^k}{k!\cdot 2^{\frac{k(k-1)}{2}}}$$

Алынған қатардың жинақталатынын тексеріп көрейік. Әйгілі Дирихленің белгісі бойынша

$$\frac{|a_{m+1}|}{|a_m|} = \frac{1}{(m+1)\cdot 2^m} \to 0, m \to \infty$$

Демек қатар жинақталады екен, енді осы қатардың жинақталу радиусын есептейік [4]

$$R = \lim_{m\to\infty}\frac{1}{\sqrt[m]{|a_m|}}$$

біздің жағдайда

$$|a_m| = \frac{|y_0|}{m!\cdot 2^{\frac{m(m-1)}{2}}}, \Rightarrow \sqrt[m]{|a_m|} = |a_m|^{\frac{1}{m}} = \frac{|y_0|^{\frac{1}{m}}}{(m!)^{\frac{1}{m}}\cdot 2^{\frac{m-1}{2}}} = \left[\frac{|y_0|}{m!}\right]^{\frac{1}{m}}\cdot\frac{1}{2^{\frac{m-1}{2}}} <$$

$$|a_m| = \frac{|y_0|}{m!\cdot 2^{\frac{m(m-1)}{2}}}, \Rightarrow \sqrt[m]{|a_m|} = |a_m|^{\frac{1}{m}} = \frac{|y_0|^{\frac{1}{m}}}{(m!)^{\frac{1}{m}}\cdot 2^{\frac{m-1}{2}}} = [\frac{|y_0|}{m!}]^{\frac{1}{m}} \cdot \frac{1}{2^{\frac{m-1}{2}}} <$$

$$< \left(\frac{|y_0|}{2}\right)^{\frac{1}{m}} \cdot \frac{1}{2^{\frac{m-1}{2}}} < \begin{cases} \left(\frac{|y_0|}{2}\right)^{1/2} \cdot \frac{1}{2^{\frac{m-1}{2}}}, егер \frac{|y_0|}{2} > 1 \\ \frac{1}{2^{\frac{m-1}{2}}}, егер \frac{|y_0|}{2} \le 1. \end{cases}$$

Демек, $\lim\limits_{m\to\infty} \sqrt[m]{|a_m|} = 0,$ мұнан $R = +\infty$, яғни

$$y(t,\lambda) = \sum_{k=0}^{\infty} a^k (\lambda t)^k = \sum_{k=0}^{\infty} a_k z^k, z = \lambda t$$

дәрежелік қатары бүткіл комплекс z жазықтығында жинақталды, сондықтан ол голоморфты немесе аналитикалық функция болады.

Енді осы табылған

$$F(z) = y_0 \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{z^m}{m!\cdot 2^{\frac{m(m-1)}{2}}} + y_0 \tag{1.6}$$

голоморфты функциясының қасиеттерін зерттейік. Функцияның қаншалықты тез өсетініне назар аударайық. Фунцияның өсу дәрежесі мына [1, с.12],

$$\rho = \overline{\lim_{x\to\infty}} \frac{m \ln m}{\ln\left|\frac{1}{a_m}\right|}$$

формула арқылы анықталады. Осы формула бойынша

$$\rho = \overline{\lim_{m\to\infty}} \frac{m \ln m}{\frac{m(m-1)}{2}\ln 2 + \ln m!}$$

Енді Стирлингтің формуласын [2, с.279] пайдаланайық, бұл формула бойынша

$$m! = \sqrt{2\pi m}\left(\frac{m}{e}\right)^m \varepsilon_m$$

Мұндағы $\varepsilon_m > 0$ және $\varepsilon_m \to 1, m \to \infty.$ Міне тап осы формула бойынша

$$\ln m! = \frac{1}{2}\ln(2\pi m) + m(\ln m - 1) + \ln \varepsilon_m = \frac{1}{2}\ln 2\pi + \frac{1}{2}\ln m +$$

$$+ m\ln m - m + \ln \varepsilon_m = m\ln m\left[1 - \frac{1}{\ln m} + \frac{\frac{1}{2}\ln 2\pi}{m\ln m} + \frac{1}{2m} + \frac{\ln \varepsilon_m}{m\ln m}\right]$$

Сондықтан,

$$\rho = \lim_{m\to\infty} \frac{1}{\frac{\ln 2}{2}\underbrace{\frac{m-1}{\ln m}}_{\infty} + \underbrace{\frac{\ln m!}{m\ln m}}_{1}} = 0$$

және осы себепті $F(z)$ функциясы жай өседі [3].

Ескерту 2 . $e^x > \frac{x^2}{2}, \frac{e^x}{x} > \frac{x}{2} \Rightarrow \frac{u}{\ln u} > \frac{\ln u}{2}, \Rightarrow \frac{m}{\ln m} > \frac{\ln m}{2} \Rightarrow \frac{m}{\ln m} \to +\infty m \to \infty$

Демек,

$$\frac{m-1}{\ln m} = \left(\frac{m}{\ln m} - \frac{1}{\ln m}\right) \to +\infty, m \to \infty$$

сәтінде алынған нәтижелерді тұжырымдап қоялық.

Теорема 1.2. Комплекс жазықтықтағы кезкелген

λ

үшін Кошидің мына,

$$\begin{cases} y'(t) = \lambda y(\frac{t}{2}), 0 < t \le 1 \\ y(0) = y_0 \ne 0 \end{cases} \tag{1}$$

есебінің шешімі бар және ол мынау ,

$$y(t,\lambda) = y_0 \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(\lambda t)^m}{m! - 2^{\frac{m(m-1)}{2}}} + y_0 \tag{2}$$

Бұл шешім

$$\lambda < \frac{1}{\sqrt{2}}$$

дөңгелегі ішінде бірегей , яғни осы дөңгелек ішінде мұнан басқа шешім жоқ.

Осы теоремаға байланысты сұрақ туындайды ,яғни $\left|\lambda \ge \frac{1}{\sqrt{2}}\right|$ сәтінде не болар екен деген. Бұл сәттерде есептің шешімінің бар екенін корсеттік , бірақ оның бірегей екенін әзірге көрсете алмадық [4].

Ескерту 3. Қатардың бірқалыпты жинақталатынын көрсеткенде біз Вейерштрасстың теоремасына сүйендік [5-6].

Ескерту 4. Қатарлармен амалдар жүргізгенде дәрежелік қатарларды қажетінше дифференциалдауға және интегралдауға болатынын ескердік , және мұндай жайлар өзінен–өзі түсінікті деп санадық [7].

Ескерту 5. Біз әзірге дифференциалдық теңдеулер теориясының шеңберінен шыға қойған жоқпыз.

Әдебиеттер тізімі

1. Кожанов А.И. Нелокальное краевые и обратные задачи для неклассических дифференциальных и операторно-дифференцальных уравнение. Российский фонд фундаментальных исследований. 2018.
2. Кольцова Э.М. "Численные методы решения уравнений математической физики и химии. Учебное пособие для академического бакалавриата"-Изд-во Юрайт, 2020.-220с.
3. Мышкас А.Д. Линейные дифференциальные уравнения с запаздывающим аргументом. М.Л., 1951.
4. Шалданбаев Ә.Ш., Көпжасарова А.А. Функционалдық талдау практикумы.Оқу құралы.Шымкент: М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Мемлекеттік университеті, 2015, 97б.
5. Копжасарова А.А., А.Л.Лукашов. Спектральные свойства несамосопряженных возмущений одной модельной обобщенной спектральной задачи.// Материалы 16-й Саратовской зимней школы «Современные проблемы теории функций и их приложения». Саратов. 2012г. Б 94-95.
6. Копжасарова А.А., А.Б.Иманбаева, А.Ш.Шалданбаев. Решение сингулярно возмущенной задачи Коши методом подобия.// Известия национальной академии наук Республики Казахстан. Серия физико-математическая. 2015 5 (315). С 127-133
7. Kopzhassarova A.A.,Shaldanbaev A.Sh., Imanbaeba A.I. Periodic problem for first-order equations with deviating argument. //Second International conference on Analysis and Applied Mathematics ICAAM 2014. Shymkent, Kazakhstan. September 11-13.2014. P.52-53.

References

1. Kozhanov A.I. Nelokal'noe kraevye i obratnye zadachi dlya neklassicheskih differencial'nyh i operatorno-differencal'nyh uravnenie. Rossijskij fond fundamental'nyh issledovanij. 2018.
2. Kol'cova E.M. "CHislennye metody resheniya uravnenij matematicheskoj fiziki i himii. Uchebnoe posobie dlya akademicheskogo bakalavriata"-Izd-vo YUrajt, 2020.-220s.
3. Myshkas A.D. Linejnye differencial'nye uravneniya s zapazdyvayushchim argumentom. M.L., 1951.
4. SHaldanbaev Ə.SH., Kөpzhasarova A.A. Funkcionaldyқ taldau praktikumy.Oқu құraly.SHymkent: M.Əuezov atyndaғy Oңtүstik Қazaқstan Memlekettik universiteti, 2015, 97b.
5. Kopzhasarova A.A., A.L.Lukashov. Spektral'nye svojstva nesamosopryazhennyh vozmushchenij odnoj model'noj obobshchennoj spektral'noj zadachi.// Materialy 16-j Saratovskoj zimnej shkoly «Sovremennye problemy teorii funkcij i ih prilozheniya». Saratov. 2012g. B 94-95.
6. Kopzhasarova A.A., A.B.Imanbaeva, A.SH.SHaldanbaev. Reshenie singulyarno vozmushchennoj zadachi Koshi metodom podobiya.// Izvestiya nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazahstan. Seriya fiziko-matematicheskaya. 2015 5 (315). S 127-133
7. Kopzhassarova A.A.,Shaldanbaev A.Sh., Imanbaeba A.I. Periodic problem for first-order equations with deviating argument. //Second International conference on Analysis and Applied Mathematics ICAAM 2014. Shymkent, Kazakhstan. September 11-13.2014. P.52-53.

А.А. Копжасарова*, А.Е. Жаксанова, Г.К. Тагай
доктор PhD, старший преподаватель, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
к.т.н., старший преподаватель, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
старший преподаватель, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
***Автор для корреспонденции:** Asyl_k@mail.ru

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ЕДИНСТВЕННОГО УРАВНЕНИЯ

Аннотация

Во многих важных случаях простое состояние системы в момент времени t удобно выразить числовым вектором $\overrightarrow{x(t)}$. Скорость изменения этого вектора за время t и самого себя следующая:

$$\frac{\overrightarrow{dx(t)}}{dt} = g(\vec{x},t), \overrightarrow{x(0)} = \vec{c}$$

мы приходим к дифференциальному уравнению. Основными вопросами, изучаемыми здесь, являются условия существования единственного решения уравнения при различных начальных условиях и условия существования единственности решений двух- или многоточечных краевых задач, изменение решений линейных уравнений с постоянными и переменными коэффициентами, устойчивость решений линейных и нелинейных уравнений.

Анализируя это простое уравнение, в результате кропотливых и глубоких исследований мы можем получить множество важных данных о физических явлениях. В то же время у нас есть множество методов и машин для решения этого уравнения. Однако некоторые явления в природе заставляют нас рассматривать более сложные уравнения, чем раньше.

Ключевые слова: граничные условия, уравнения с расходящимся аргументом, единственность, постепенное приближение, устойчивость решения.

A.A. Kopzhasarova*, A.E. Zhaksanova, G.K. Tagai
PhD, Senior Lecturer, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan
Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan
Senior Lecturer, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan
***Corresponding author’s email:** Asyl_k@mail.ru

SOLUTION OF THE CAUSHIE PROBLEM FOR A UNIQUE EQUATION

Abstract

In many important cases, it is convenient to express the simple state of the system at time t by the numerical vector $\overrightarrow{x(t)}$. The rate of change of this vector for time t and itself is as follows

$$\frac{\overrightarrow{dx(t)}}{dt} = g(\vec{x},t), \overrightarrow{x(0)} = \vec{c}$$

we come to the differential equation. The main issues studied here are the conditions for the existence of a unique solution of the equation for different initial conditions and the conditions for the existence of unique solutions of two or multi-point boundary value problems, changes in the solutions of linear equations with constant and variable coefficients, linear and nonlinear equations stability of decisions.

By analyzing this simple equation, as a result of painstaking and deep research, we can obtain many important data about physical phenomena. However, some phenomena in nature force us to consider more complex equations than before.

Keywords: boundary conditions, equations with a divergent argument, uniqueness, gradual

approximation, stability of the solution.