Исаев А.Д.

РИККАТИ ТЕҢДЕМЕСИ ЖАНА АЛМАЗ БЕЙДИН ЫКМАСЫ

Исаев А.Д.

УРАВНЕНИЕ РИККАТИ И МЕТОД АЛМАЗ БЕЯ

A.D. Isaev

THE RICCATI'S EQUATION AND THE ALMAZ BEY'S METOD

Анализ метода с применением общеизвестных теоретических расчётов, представленных в книге А.И.Егорова «Уравнения Риккати», с последующей проверкой сходимости функций решений на Mathcad 11.

УДК: 517.923+517.933

Макалада Риккати скалярдык теңдемесинин жаңы ыкма аркылуу табылган аналитикалык чыгарылышы менен башка ыкмалардан келип чыккан чыгарылыштардын жакындашуулары каралат.

Негизги сөздөр: *ийрилик теңдемеси, Риккати теңдемеси.*

В статье рассматривается сходимость общего решения скалярного уравнения Риккати, полученное вышеуказанным методом, с другими общеизвестными решениями.

Ключевые слова: *уравнение кривизны, уравнение Риккати.*

The convergence of the general solution of the Riccati equation obtained by the above-mentioned method with other well-known solutions is considered in the article.

Key words: *the equation of the curvature, the Riccati equation.*

I.Введение. В продолжении ряда работ, посвященных скалярным уравнениям Риккати $[3,4]$, хотелось бы остановится и сопоставить решения, полученные нами, с глубоким анализом произведённым в книге А.И.Егорова «Уравнения Риккати», получившей признание специалистов, интересующихся данной областью математики.

Общеизвестно, что методы применяемые при решении уравнений Риккати зависят от коэффициентов, отсюда и их многообразие. Каждый метод разработанный для решения нелинейных дифференциальных уравнений обязательно апробируется на уравнениях Риккати, о свойствах которых, мы уже знаем. Однако не меньшую актуальность имеет и прикладная составляющая подобных уравнений, решение которых может создать большой прорыв в области проблем аэро и гидродинамики $[1]$.

II.0 Теоретическая часть.

(Обозначения и символы будут употребляться с некоторыми изменениями. Суть останется прежней)

Напомним $[3,4]$

$$\frac{dX(t)}{dt} = a(t) \cdot X^2(t) + b(t) \cdot X(t) + c(t)$$

поиск функции вели, как $X(t) = e^{W(\theta)} \quad ; \quad \theta = \theta(t) \qquad (1)$

$$\frac{dS}{dt} + \frac{dx}{dt} = \frac{1}{\cos(\theta)} + tg(\theta) = e^{W(\theta)} = X(t) \ ; \frac{dS}{dt} - \frac{dx}{dt} = \frac{1}{\cos(\theta)} - tg(\theta) = e^{-W(\theta)} = \frac{1}{X(t)}$$

где,

$$\frac{dX(t)}{dt} = a(t)\cdot X^2(t) + b(t)\cdot X(t) + c(t) \quad \Rightarrow X(t)\cdot\frac{dW(\theta)}{dt} = a(t)\cdot X^2(t) + b(t)\cdot X(t) + c(t)$$

$$a(t)\cdot X^2(t) + \left(b(t) - \frac{dW(\theta)}{dt}\right)\cdot X(t) + c(t) = 0 \quad \textit{с одной стороны}.$$

С другой стороны имели,

$$\frac{dW(\theta)}{dt} = \frac{f(t)}{\cos^2(\theta)} = a(t)\cdot X(t) + b(t) + \frac{c(t)}{X(t)}$$

$$\frac{1}{1-\sin^2(\theta)} = \frac{1}{(1-\sin(\theta))\cdot(1+\sin(\theta))} = \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{1-\sin(\theta)} + \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{1+\sin(\theta)}$$

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{1-\sin(\theta)} + \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{1+\sin(\theta)} = \frac{b(t) + a(t)\cdot e^W + c(t)\cdot e^{-W}}{f(t)}$$

$$\frac{f(t)}{2}\cdot\left(\frac{1}{1-\sin(\theta)} + \frac{1}{1+\sin(\theta)}\right) = \frac{1}{2}\cdot\frac{\cos(\theta)\cdot d\theta}{dt}\left(\frac{1}{1-\sin(\theta)} + \frac{1}{1+\sin(\theta)}\right) = b(t) + a(t)\cdot e^W + c(t)\cdot e^{-W}$$

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{d\theta}{dt}\left(\underbrace{\frac{\cos(\theta)}{1-\sin(\theta)}}_{X(t)=e^W} + \underbrace{\frac{\cos(\theta)}{1+\sin(\theta)}}_{\frac{1}{X(t)}=e^{-W}}\right) = b(t) + a(t)\cdot\underbrace{\frac{\cos(\theta)}{1-\sin(\theta)}}_{X(t)=e^W} + c(t)\cdot\underbrace{\frac{\cos(\theta)}{1+\sin(\theta)}}_{\frac{1}{X(t)}=e^{-W}}$$

$$\left(a(t) - \frac{1}{2}\cdot\frac{d\theta}{dt}\right)\cdot X^2(t) + b(t)\cdot X(t) + \left(c(t) - \frac{1}{2}\cdot\frac{d\theta}{dt}\right) = 0$$

далее,

1) $\quad a(t)\cdot X^2(t) + \left(b(t) - \frac{dW(\theta)}{dt}\right)\cdot X(t) + c(t) = 0$

2) $\quad \left(a(t) - \frac{1}{2}\cdot\frac{d\theta}{dt}\right)\cdot X^2(t) + b(t)\cdot X(t) + \left(c(t) - \frac{1}{2}\cdot\frac{d\theta}{dt}\right) = 0n$

$$1) - 2) \rightarrow\ 0 = \frac{1}{2}\cdot\frac{d\theta}{dt}\cdot X^2(t) - \frac{dW(\theta)}{dt}\cdot X(t) + \frac{1}{2}\cdot\frac{d\theta}{dt}$$

поиск частного решения уравнения вёлся при условии малых углов текущих точек:

$$-35^\circ \le \theta \le +35^\circ$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{d\sin(\theta)}{dt} = \frac{dW(\theta)}{dt} \quad \textit{тогда} \quad 0 = \frac{1}{2}\cdot\frac{d\sin(\theta)}{dt}\cdot X^2(t) - \frac{d\sin(\theta)}{dt}\cdot X(t) + \frac{1}{2}\cdot\frac{d\sin(\theta)}{dt}$$

$$0 = X^2(t) - 2\cdot X(t) + 1 \ \Rightarrow\ X(t)_{1,2} = 1 = \frac{1+\sin(\theta)_{1,2}}{\cos(\theta)_{1,2}}$$

$\frac{d\overbrace{W(\theta)}^{\sin(\theta)}}{dt} = a(t)\cdot X(t) + b(t) + \frac{c(t)}{X(t)} \Rightarrow \frac{d\sin(\theta)}{dt} = a(t) + b(t) + c(t)$, *что при подстановке в уравнение* 2) *приводит к частному решению.*

Общее решение уравнения находилось в виде подстановки $\frac{dW(\theta)}{dt} = \frac{1}{1-\sin^2(\theta)}\cdot\frac{d\sin(\theta)}{dt}$ *в уравнение* $a(t)\cdot X^2(t) + \left(b(t) - \frac{dW(\theta)}{dt}\right)\cdot X(t) + c(t) = 0$

Заметим ,что уместно использовать $W(\theta) = Arth(\sin(\theta))$ *либо* $W(\theta) = \sum_{n=0}^{N}\frac{\sin(\theta)^{2\cdot n+1}}{2\cdot n+1} + C_W$ *в зависимости от особых точек.*

Тогда общее и частное решение уравнения Риккати :

$$\sin(\theta) = \int\left[a(t) + b(t) + c(t)\right]\cdot dt + C_\theta,\quad W(\theta) = \int\frac{1}{1-\sin^2(\theta)}\cdot d\sin(\theta) + C_W$$

$$X(t)_1 = \frac{-1}{2}\cdot\frac{b(t) - \frac{dW(\theta)}{dt} + \left[b^2(t) - 2\cdot b(t)\cdot\frac{dW(\theta)}{dt} + \left(\frac{dW(\theta)}{dt}\right)^2 - 4\cdot a(t)\cdot c(t)\right]^{\frac{1}{2}}}{a(t)} \qquad (2)$$

$$X(t)_2 = \frac{-1}{2}\cdot\frac{b(t) - \frac{dW(\theta)}{dt} - \left[b^2(t) - 2\cdot b(t)\cdot\frac{dW(\theta)}{dt} + \left(\frac{dW(\theta)}{dt}\right)^2 - 4\cdot a(t)\cdot c(t)\right]^{\frac{1}{2}}}{a(t)}$$

$X(t)_{ч.р3} = e^{\sin(\theta)_{ч.р3}}$ *– частное решение.*

Продолжив решение, при малых углах текущих точек , разрешённое относительно:

$$X(t) = e^{\sin\theta)}$$

$\frac{d\overbrace{W(\theta)}^{\sin(\theta)}}{dt} = a(t)\cdot X(t) + b(t) + \frac{c(t)}{X(t)} \Rightarrow \frac{d\sin(\theta)}{dt} = a(t) + b(t) + c(t)$, *что при подстановке в уравнения* 1 *и* 2 *приведёт к частному решению.*

$$X(t)_{ч.р1} = e^{\sin(\theta)_{ч.р1}} = \frac{c(t)}{a(t)} \qquad X(t)_{ч.р2} = e^{\sin(\theta)_{ч.р2}} = \frac{-\left[c(t) - a(t) - b(t)\right]}{-a(t) + b(t) + c(t)} \text{ соответственно} \qquad (3)$$

II.1. Метод подстановки.

Классический путь, согласующийся с [1].

$$X_{об.р} = X_{ч.р} + U \quad \textit{где} \quad X_{об.р} - \textit{общее решение.} \quad X_{ч.р} - \textit{частное решение.}$$

$$\frac{dX_{об.р}}{dt} = a(t)\cdot X^2_{об.р} + b(t)\cdot X_{об.р} + c(t)$$

$$\frac{dX_{ч.р}}{dt} + \frac{dU}{dt} = a(t)\cdot\left[X_{ч.р} + U\right]^2 + b(t)\cdot\left[X_{ч.р} + U\right] + c(t)$$

$$\underline{\frac{dX_{ч.р}}{dt}} + \frac{dU}{dt} = \underline{a(t)\cdot X^2_{ч.р}} + 2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р}\cdot U + a(t)\cdot U^2 + \underline{b(t)\cdot X_{ч.р}} + b(t)\cdot U + \underline{c(t)}$$

остаётся

$$\frac{dU}{dt} = 2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р}\cdot U + a(t)\cdot U^2 + b(t)\cdot U \quad \textit{подстановка} \quad U = \frac{1}{Z}$$

приведёт к линейному дифференциальному уравнению.

$$\frac{-1}{Z^2}\cdot\frac{dZ}{dt} = \frac{a(t)}{Z^2} + \left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]\cdot\frac{1}{Z} \;\Rightarrow\; \frac{-dZ}{dt} = a(t) + \left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]\cdot Z$$

Подстановка $Z = u\cdot v$ *общеизвестный метод.*

$$\frac{-dZ}{dt} = a(t) + \left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]\cdot Z \;\Rightarrow\; -u\cdot\frac{dv}{dt} - v\cdot\frac{du}{dt} = a(t) + \left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]\cdot v\cdot u$$

$$0 = \underbrace{v\cdot\frac{du}{dt} + a(t)}_{0} + u\cdot\underbrace{\left(\left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]\cdot v + \frac{dv}{dt}\right)}_{0}$$

$$d\ln\left|\frac{1}{v}\right| = \left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]\cdot dt \;\Rightarrow\; \ln\left|\frac{1}{v}\right| = \int\left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]\cdot dt + \ln\left|C_v\right|$$

$$v(t) = \frac{1}{C_v\cdot e^{\int\left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]dt}}; \quad du = -\frac{a(t)}{v(t)}\cdot dt \;\Rightarrow\; u(t) = -C_v\cdot\int a(t)\cdot e^{\int\left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]dt}\cdot dt + C_u$$

$$Z(t) = u(t)\cdot v(t) = \left[-C_v\cdot\int a(t)\cdot e^{\int\left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]dt}\cdot dt + C_u\right]\cdot\frac{1}{C_v\cdot e^{\int\left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]dt}}$$

$$U(t) = \frac{1}{Z(t)} = \frac{1}{\left[-C_v\cdot\int a(t)\cdot e^{\int\left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]dt}\cdot dt + C_u\right]\cdot\frac{1}{C_v\cdot e^{\int\left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]dt}}}$$

Общее решение уравнения

$$X_{об.р} = X_{ч.р} + U = X_{ч.р} + \frac{1}{\left[-C_v\cdot\int a(t)\cdot e^{\int\left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]dt}\cdot dt + C_u\right]\cdot\frac{1}{C_v\cdot e^{\int\left[2\cdot a(t)\cdot X_{ч.р} + b(t)\right]dt}}} \qquad (4)$$

II.2 Вывод общего решения уравнения Риккати, когда известны три частных его решения.

В связи этим имея в наличии три частных решения уравнения Риккати поступим, как [1] .

$$X(t)_{ч.р3} = e^{\sin(\theta)_{ч.р3}}; \quad X(t)_{ч.р1} = e^{\sin(\theta)_{ч.р1}} = \frac{c(t)}{a(t)}; \quad X(t)_{ч.р2} = e^{\sin(\theta)_{ч.р2}} = \frac{-\left[c(t)-a(t)-b(t)\right]}{-a(t)+b(t)+c(t)}$$

$$X_{об.р} = X_{ч.р} + U; \; U = \frac{1}{Z}; \; Z_{об.р} = \frac{1}{X_{об.р} - X_{ч.р}}$$

$$Z_{ч.р1} = \frac{1}{X_{ч.р2} - X_{ч.р1}}; \quad Z_{ч.р2} = \frac{1}{X_{ч.р3} - X_{ч.р1}}$$

согласно общее решение находится через формулу $Z_{об.р} = Z_{ч.р1} + C\cdot\left(Z_{ч.р2} - Z_{ч.р1}\right)$

где $C -$ *произвольная постоянная. Это решение можно представить и*

$$Z_{об.р} = \frac{1}{X_{ч.р2} - X_{ч.р1}} + C\cdot\left(\frac{1}{X_{ч.р3} - X_{ч.р1}} - \frac{1}{X_{ч.р2} - X_{ч.р1}}\right)$$

Отсюда $Z_{об.р} = \dfrac{1}{X_{об.р} - X_{ч.р}} \Rightarrow \quad X_{об.р} = X_{ч.р} + \dfrac{1}{Z_{об.р}}$

$$Z_{об.р} = \frac{1}{e^{\sin(\theta)_{ч.р2}} - e^{\sin(\theta)_{ч.р1}}} + C\cdot\left(\frac{1}{e^{\sin(\theta)_{ч.р3}} - e^{\sin(\theta)_{ч.р1}}} - \frac{1}{e^{\sin(\theta)_{ч.р2}} - e^{\sin(\theta)_{ч.р1}}}\right)$$

$$X_{об.р} = e^{\sin(\theta)_{ч.р1}} + \frac{1}{e^{\sin(\theta)_{ч.р2}} - e^{\sin(\theta)_{ч.р1}}} + C\cdot\left(\frac{1}{e^{\sin(\theta)_{ч.р3}} - e^{\sin(\theta)_{ч.р1}}} - \frac{1}{e^{\sin(\theta)_{ч.р2}} - e^{\sin(\theta)_{ч.р1}}}\right)$$

$$X(t)_{об.р} = \frac{c(t)}{a(t)} + \frac{1}{\left[\frac{-\left[c(t)-a(t)-b(t)\right]}{-a(t)+b(t)+c(t)}\right] - \frac{c(t)}{a(t)}} + C\cdot\left(\frac{1}{e^{\int\left[a(t)+b(t)+c(t)\right]\cdot dt + C_{\theta}} - \frac{c(t)}{a(t)}} - \frac{1}{\left[\frac{-\left[c(t)-a(t)-b(t)\right]}{-a(t)+b(t)+c(t)}\right] - \frac{c(t)}{a(t)}}\right) \quad (5)$$

Общее решение уравнения.

II.3 Решение скалярного уравнения Риккати с использованием метода подстановки Алмаз Бея.

Начнём с подстановки: $X_{об.р} = \dfrac{A\cdot X_{ч.р}}{a(t)}$ *где,* $A -$ *постоянная уравнения Риккати.*

$X_{ч.р} = X_{ч.р}(t) -$ *искомое частное решение.*

$$A\cdot\frac{d\left[\frac{X_{ч.р}}{a(t)}\right]}{dt} = \frac{a(t)\cdot A^2\cdot X^2_{ч.р}}{a(t)^2} + \frac{b(t)\cdot A\cdot X_{ч.р}}{a(t)} + c(t)$$

$$\frac{A}{a(t)}\cdot\frac{dX_{ч.р}}{dt} - \frac{A}{a(t)^2}\cdot\frac{da(t)}{dt}\cdot X_{ч.р} = \frac{a(t)\cdot A^2\cdot X^2_{ч.р}}{a(t)^2} + \frac{b(t)\cdot A\cdot X_{ч.р}}{a(t)} + c(t)$$

$$\frac{dX_{ч.р}}{dt} - \frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\cdot X_{ч.р} = A\cdot X^2_{ч.р} + b(t)\cdot X_{ч.р} + \frac{a(t)\cdot c(t)}{A}$$

$$\frac{dX_{ч.р}}{dt} = \underbrace{A}_{a_1}\cdot X^2_{ч.р} + \underbrace{\left[b(t) + \frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right]}_{b_1}\cdot X_{ч.р} + \underbrace{\frac{a(t)\cdot c(t)}{A}}_{c_1} \qquad \frac{dX_{ч.р}}{dt} = a_1(t)\cdot X^2_{ч.р} + b_1(t)\cdot X_{ч.р} + c_1(t)$$

Дальнейшая подстановка: $X_{ч.р} = X_1 - \frac{b_1(t)}{2\cdot A} \quad \Rightarrow \quad X_{ч.р} = X_1 - \frac{\left(b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right)}{2\cdot A}$

$$\frac{dX_1}{dt} = A\cdot X_1^2 + c_2(t) \quad -\textit{один из видов уравнения Риккати.} \qquad (6)$$

$$\frac{d\left[X_1 - \frac{\left(b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right)}{2\cdot A}\right]}{dt} = A\cdot\left[X_1 - \frac{\left(b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right)}{2\cdot A}\right]^2 + \left[b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right]\cdot\left[X_1 - \frac{\left(b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right)}{2\cdot A}\right] + \frac{a(t)\cdot c(t)}{A}$$

$$\frac{dX_1}{dt} - \frac{d\left[\frac{\left(b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right)}{2\cdot A}\right]}{dt} = A\cdot X_1^2 - \frac{2\cdot A\cdot\left[b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right]\cdot X_1}{2\cdot A} + A\cdot\left[\frac{\left(b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right)}{2\cdot A}\right]^2 + \left[b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right]\cdot X_1 - \frac{1}{2\cdot A}\cdot\left[b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right]^2 + \frac{a(t)\cdot c(t)}{A}$$

$$\frac{dX_1}{dt} = A\cdot X_1^2 + \underbrace{\frac{d\left[\frac{\left(b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right)}{2\cdot A}\right]}{dt} - \frac{1}{4\cdot A}\cdot\left[b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right]^2 + \frac{a(t)\cdot c(t)}{A}}_{c_2(t)}$$

$$\frac{dX_1}{dt} = \underbrace{A}_{a_2(t)}\cdot X_1^2 + c_2(t) \quad \Rightarrow \quad \textit{Общее решение этого уравнения есть}$$

$$X_1(t) = B\cdot\frac{e^{\sin(\theta)_{ч.р}}}{a_2(t)} \quad \Rightarrow \quad X_1(t) = B\cdot\frac{c_2(t)}{\left[a_2(t)\right]^2}$$

$$X_{ч.р} = X_1 - \frac{b_1(t)}{2\cdot A} \quad \Rightarrow \quad X_{ч.р} = B\cdot\frac{c_2(t)}{\left[a_2(t)\right]^2} - \frac{\left(b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right)}{2\cdot A}$$

$$X_{об.р} = \frac{A\cdot X_{ч.р}}{a(t)} \quad \Rightarrow \quad X_{об.р} = \frac{A}{a(t)}\cdot\left[B\cdot\frac{c_2(t)}{\left[a_2(t)\right]^2} - \frac{\left(b(t)+\frac{1}{a(t)}\cdot\frac{da(t)}{dt}\right)}{2\cdot A}\right] \qquad (7)$$

Общее решение уравнения.

III. Сходимость решений полученных разными методами на Mathcad 11.

Возьмём общие решения полученные разными способами.

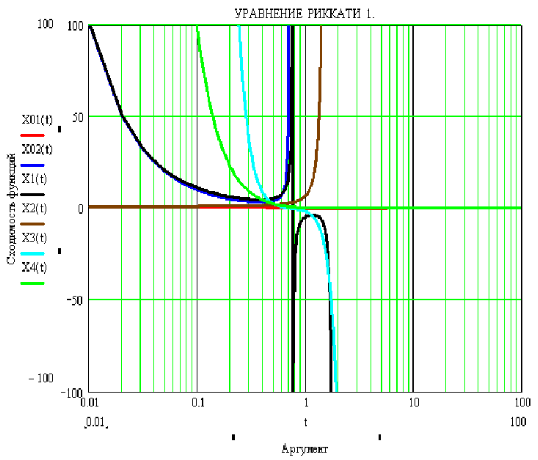
$$X(t)_{01} = \frac{-1}{2} \cdot \frac{b(t) - \dfrac{dW(\theta)}{dt} + \left[b^2(t) - 2 \cdot b(t) \cdot \dfrac{dW(\theta)}{dt} + \left(\dfrac{dW(\theta)}{dt} \right)^2 - 4 \cdot a(t) \cdot c(t) \right]^{\frac{1}{2}}}{a(t)}$$

$$X(t)_{02} = \frac{-1}{2} \cdot \frac{b(t) - \dfrac{dW(\theta)}{dt} - \left[b^2(t) - 2 \cdot b(t) \cdot \dfrac{dW(\theta)}{dt} + \left(\dfrac{dW(\theta)}{dt} \right)^2 - 4 \cdot a(t) \cdot c(t) \right]^{\frac{1}{2}}}{a(t)}$$

$$X(t)_1 = X_{ч.р} + U = X_{ч.р} + \frac{1}{\left[-C_v \cdot \int a(t) \cdot e^{\int [2 \cdot a(t) \cdot X_{ч.р} + b(t)] dt} \cdot dt + C_u \right] \cdot \dfrac{1}{C_v \cdot e^{\int [2 \cdot a(t) \cdot X_{ч.р} + b(t)] dt}}}$$

$$X(t)_2 = X_{ч.р} + \frac{1}{Z_{об.р}}$$

$$X(t)_3 = \frac{A}{a(t)} \cdot \left[B \cdot \frac{c_2(t)}{[a_2(t)]^2} - \frac{\left(b(t) + \dfrac{1}{a(t)} \cdot \dfrac{da(t)}{dt} \right)}{2 \cdot A} \right]$$



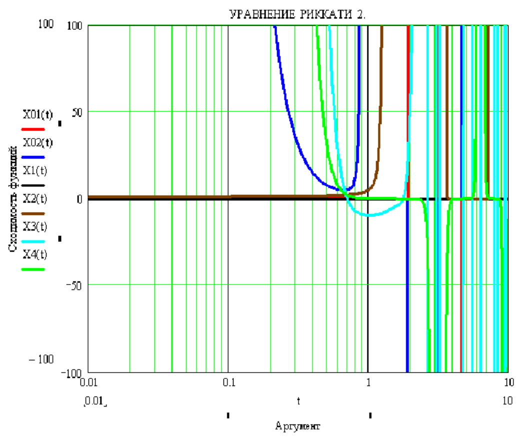
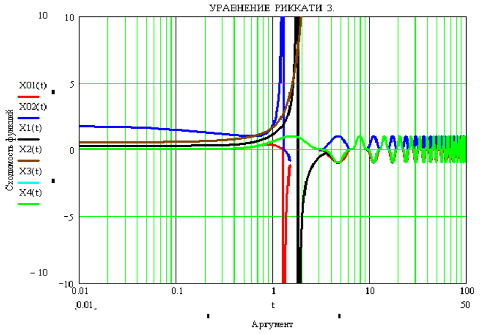


Рис 1. $a(t) = t^3 + t$; $b(t) = t^5$; $c(t) = 1$ *Рис* 2. $a(t) = \tan^3(t)$; $b(t) = t^5 \cdot \sin(t)$; $c(t) = \cos(t)$



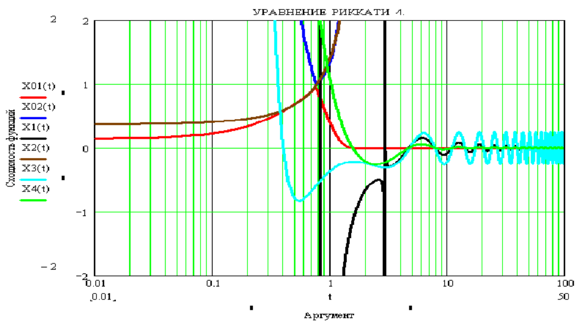


Рис 3. $a(t) = 1$; $b(t) = 0$; $c(t) = \sin^3(t)$ *Рис* 4. $a(t) = t$; $b(t) = 0$; $c(t) = \cos(t)$

IV. Вывод. Анализ функций решений, где коэффициенты и постоянные интегрирования выбирались произвольным образом дают удовлетворительную сходимость с учётом сложности взятия интегралов от некоторых методов.

Литература:

1.А.И.Егоров. Уравнение Риккати, («Физматлит», Москва 2001, стр140-157)
2.В.Ф.Зайцев. А.Д.Полянин. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям, («Физико-Математическая литература», Москва 2001,стр575)
3. А.Д. Исаев. Нелинейный поперечный изгиб, интеграл вероятности и уравнение Риккати, («Наука,новые технологии и инновации Кыргызстана», Бишкек 2016, №5, стр20-36)
4. А.Д. Исаев. Об одном общем решении уравнения Риккати, («Вестник КГПУ им. Арабаева», Бишкек 2016, №2, стр--)

Посвящается Омуралиеву Асану Сыдыгалиевичу!!

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор Омуралиев А.С.