

УДК 5530.12+531.51+517.944+519.713+514.774+519.711.3+551.5.001.57+517.957

Ю. Г. Игнатъев,¹ А. Р. Самигулина²

**ПАКЕТ ПРОГРАММ DIFEQTOOLS ЧИСЛЕННО - АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОЗДАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕЛИНЕЙНЫХ
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ^{3,4}**

Пакет DifeqTools создан на основе более ранних авторских пакетов Difeq и Splines и позволяет решать численными методами любые системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), **разрешенных относительно старших производных**:

$$y_i^{(n_i)} = F_i(y_1, \dots, y_N, y_1', \dots, y_N', y_1'', \dots, y_N'', \dots, y_1^{(n_1-1)}, \dots, y_1^{(n_N-1)}, t); \quad (i = \overline{1, N}), \quad (1)$$

где $y^{(n)} = d^n y / dt^n$ — обозначение n-той производной функции $y(t)$ по независимой переменной t , — времени, а F_i — непрерывно-дифференцируемые функции своих переменных. Будем в дальнейшем полагать выполненными начальные условия для системы (1):

$$y_i^{(k)}(t) \Big|_{t=t_0} = C_i^k; \quad (k = \overline{1, n_i-1}; i = \overline{1, N}), \quad (2)$$

соответствующие стандартной задаче Коши, где C_i^k — начальные значения производных k-го порядка функций $y_i(t)$. При этом команды пакета выводят численное решение системы в функциональном виде $y_i(t)$, не требующим дополнительных программных процедур для реализации.

Пакет программ DifeqTools позволяет представлять численные решения в виде сплайнов, позволяющих обращаться с полученными решениями, как с обычными аналитическими функциями, в том числе, например, дифференцировать и интегрировать эти решения простыми командами и результат опять представлять в сплайновой форме (то есть, в форме кусочно-заданной функции, состоящей из полиномов).

Пакет DifeqTools создан на основе более ранних авторских пакетов Difeq и Splines и позволяет автоматически выводить в графическом представлении 2d и 3d, статические и динамические графики, построенные, как на численных, так и сплайновых решениях нелинейных систем ОДУ любого порядка, с выводом на графики любых неизвестных функций и любых их производных. Координатные оси автоматически нумеруются.

Ключевые слова: нелинейные динамические системы, математическое моделирование, качественная теория дифференциальных уравнений, сплайновая аппроксимация, численные методы интегрирования, визуализация вычислений, прикладные математические пакеты.

PACS: 04.20.Cv, 98.80.Cq, 96.50.S, 52.27.Ny, 02.60.Cb, 07.05.Tr, 04.25.-g

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игнатъев Ю.Г. Математическое моделирование фундаментальных объектов и явлений в системе компьютерной математики Maple. Лекции для школы по математическому моделированию. Казань: Казанский университет, 2014. 298 с.
2. Игнатъев Ю.Г., Абдулла Х.Х. Комплекс программ для математического моделирования нелинейных электродинамических систем в системе компьютерной математики Maple // Вестник Российского университета дружбы народов. Математика. Информатика. Физика. 2010. Вып. 4. С. 65-76.
3. Игнатъев Ю.Г., Абдулла Х.Х. Математическое моделирование нелинейных обобщенно - механических систем в системе компьютерной математики Maple // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. 2010. Вып. 2 (14). С. 67-77.

¹E-mail: ignatev_yu@rambler.ru

²E-mail: alsu_sam@rambler.ru

³This work was founded by the subsidy allocated to Kazan Federal University for the state assignment in the sphere of scientific activities.

⁴Реферат программного обеспечения, размещенного на сайта журнала в разделе «Программное обеспечение»: <http://stfi.ru/ru/software.html#DifeqTools>

4. Игнатьев Ю.Г. Программа автоматизированного распознавания системы обыкновенных дифференциальных уравнений произвольного порядка, разрешенных относительно старших производных, автоматизированного управляемого численного интегрирования задачи Коши для нее и выводом решений в функциональной, сплайновой форме в системе компьютерной математики Maple // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2012613751, 20 июня 2012 г. Федеральная служба по интеллектуальной собственности; RU ОБПБТ № 3(80). 20.09.2012. С. 606
5. Игнатьев Ю.Г., Абдулла Х.Х. Программные процедуры численного решения задачи Коши для системы нелинейных дифференциальных уравнений в форме сплайнов // Системы компьютерной математики и их приложения: материалы 11-й международной конференции. СмолГУ. Смоленск, 2010. С. 23-24.
6. Игнатьев Ю.Г., Самигуллина А.Р. Программный комплекс численно - аналитического моделирования нелинейных динамических систем в СКМ Maple // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2016. Вып. 4. С. 147-148.

Поступила в редакцию 20.03.2017

Игнатьев Юрий Геннадьевич, д. ф.-м. н., профессор, кафедра высшей математики и математического моделирования, Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского, Казанский федеральный университет, 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 35.

E-mail: ignatev_yu@rambler.ru

Самигуллина Алсу Ринатовна, ассистент, кафедра высшей математики и математического моделирования, Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского, Казанский федеральный университет, 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 35.

E-mail: alsu_sam@rambler.ru

Yu. G. Ignat'ev, A. R. Samigullina

The software package DfEqTools numerical - analytical modeling of nonlinear dynamic systems and building graphic computer models

Keywords: nonlinear dynamical systems, mathematical modeling, qualitative theory of differential equations, spline approximation, numerical integration methods, visualization computing, application mathematical packages.

PACS: 04.20.Cv, 98.80.Cq, 96.50.S, 52.27.Ny, 02.60.Cb, 07.05.Tp, 04.25.-g

The package DfEqTools created based on earlier copyright packages DfEq and Splines and allows to solve numerically the system of ordinary differential equations (odes), **solved with respect to higher-order derivatives**. When this command packet is output to the numerical solution of the system in functional form $y_i(t)$, requiring no additional software procedures for implementation.

The software package DfEqTools allows us to represent the numerical solution in the form of splines, which allows to treat the obtained solutions, as with conventional analytical functions, including, for example, to differentiate and integrate those decisions with a simple command and the result again is to provide, in a spline form (i.e., in the form of a piecewise-defined function consisting of polynomials).

The package DfEqTools created based on earlier copyright packages DfEq and Splines and allows you to automatically withdraw a graphic representation of 2d and 3d, static and dynamic charts, built as numeric, and spline solutions of nonlinear systems of ODE of any order with the graphs of any unknown functions and all their derivatives. The coordinate axes are automatically numbered.

REFERENCES

1. Ignatyev Yu.G. *Matematicheskoe modelirovanie fundamentalnykh ob'ektov i yavleniy v sisteme kompyuternoy matematiki Maple. Lektsii dlya shkolyi po matematicheskomu modelirovaniyu* (Mathematical modeling of fundamental objects and phenomena in system of computer mathematics Maple. Lectures for school on mathematical modeling), Kazan: Kazan University, 2014, 298 p.
2. Ignat'ev Yu.G., Abdulla K.H. A software complex for mathematical modeling of nonlinear dynamic systems in the system of computer mathematics Maple, *Vestnik PFUR. Mat., Inf. and Phys.*, 2010, no. 4, pp. 65-76.
3. Ignat'ev Yu.G., Abdulla H.H. Mathematical modeling of nonlinear generalized - mechanical systems in Maple computer mathematics system, *University proceedings. Volga region. Physical and mathematical sciences*, 2010, no. 2(14), pp. 67-77.

4. Ignat'ev Yu.G. The program is an automated recognition system of arbitrary order ordinary differential equations resolved with respect to the highest derivatives, managed automated numerical integration of the Cauchy problem for her and terminal solutions in functional, spline shape in Maple computer mathematics system, *Bull. OBPBT*, 2012, no. 3 (80), p. 606.

5. Ignat'ev Yu.G., Abdulla H.H. Software procedures the numerical solution of the Cauchy problem for a system of nonlinear differential equations in the form of splines, *Computer algebra systems and their applications: Proceedings of the International Conference*, SmolGU, Smolensk, 2010, pp. 23-24.

6. Ignat'ev Yu. G. , Samigullina A. R. Program complex for numerical and analytical mathematical modeling of nonlinear dynamic systems in CAS Maple, *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2016, no. 4, pp. 147-148.

Received 20.03.2017

Ignat'ev Yuri Gennadievich, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Lobachevsky Institute of Mathematics and Mechanics, Kazan Federal University, ul. Kremlyovskaya, 35, Kazan, 420008, Russia.

E-mail: ignatev_yu@rambler.ru

Samigullina Alsu Rinatovna, assistant lecturer, Lobachevsky Institute of Mathematics and Mechanics, Kazan Federal University, ul. Kremlyovskaya, 35, Kazan, 420008, Russia.

E-mail: alsu_sam@rambler.ru