

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

Ю. Г. Игнатьев,<sup>1</sup> А. Р. Самигуллина<sup>2</sup>ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЧИСЛЕННО - АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СКМ MAPLE<sup>3,4</sup>

Программный комплекс состоит из двух пакетов `DifEq` и `Splines`, позволяющий исследовать нелинейные динамические системы численно-аналитическими методами. Пакет `DifEq` позволяет решать численными методами любые системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), разрешенных относительно старших производных:

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

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 `Splines` предназначен для работы со сплайнами, в том числе для трансформации численного решения в сплайны, 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.

**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. Игнатьев 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. Игнатьев 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. Игнатьев 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.
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

<sup>1</sup>E-mail: ignatev\_yu@rambler.ru

<sup>2</sup>E-mail: alsu\_sam@rambler.ru

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

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

5. Игнат'ев 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 междунар. конференции. СмолГУ. Смоленск, 2010. С. 23-24.

Поступила в редакцию 12.12.2016

Игнат'ев 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*

**Program complex for numerical and analytical mathematical modeling of nonlinear dynamic systems in CAS Maple**

*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 described software complex for numerical modeling of nonlinear dynamic systems. The formation of solutions in the format of spline allows you to apply analytical techniques for the study of dynamical systems.

REFERENCES

1. Ignatyev Yu.G. *Matematicheskoe modelirovanie fundamentalnykh ob'ektov i yavleniy v sisteme kompyuternoy matematiki Maple. Lektsii dlya shkol'yi 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.

Received 12.12.2016

Ignat'ev Yuri Gennadievich, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Lobachevsky Institut 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 Institut of Mathematics and Mechanics, Kazan Federal University, ul. Kremlyovskaya, 35, Kazan, 420008, Russia.  
E-mail: alsu\_sam@rambler.ru