

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences
Academy of Sciences
RUDN University
Tomsk State University
Institute of Information and Communication
Technologies Bulgarian Academy of Sciences
Research and development company
“Information and networking technologies”

**DISTRIBUTED COMPUTER
AND COMMUNICATION NETWORKS:
CONTROL, COMPUTATION,
COMMUNICATIONS
(DCCN-2016)**

**Volume 3
Youth School-Seminar**

**Proceedings
of the Nineteenth International Scientific Conference**

Russia, Moscow, 21–25 November 2016

*Under the general editorship
of D.Sc. V. M. Vishnevskiy and D.Sc. K. E. Samouylov*

**Moscow
2016**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ»
Национальный исследовательский
Томский государственный университет
Институт информационных и телекоммуникационных технологий
БОЛГАРСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
Научно-производственное объединение
«Информационные и сетевые технологии»

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ: УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛЕНИЕ, СВЯЗЬ (DCCN-2016)

В трех томах

**Том 3
Молодежная школа-семинар**

**Материалы
Девятнадцатой международной научной конференции**

Россия, Москва, 21–25 ноября 2016 г.

*Под общей редакцией
д.т.н. В.М. Вишневого и д.т.н. К.Е. Самуйлова*

**Москва
2016**

УДК 004.7:004.4.001:621.391:007(063)

ББК 32.973.202:32.968

Р 24

Р 24

Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2016) = Distributed computer and communication networks: control, computation, communications (DCCN-2016) : материалы Девятнадцатой международной научной конференции, 21–25 нояб. 2016 г. : в 3 т.; под общ. ред. В. М. Вишневого и К. Е. Самуйлова — М.: РУДН, 2016.

ISBN 978-5-209-07666-7

Т. 3: Молодежная школа-семинар = Youth School-Seminar. — 499 с. : ил.

ISBN 978-5-209-07669-8 (т. 3)

Научная молодежная школа-семинар проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Проект № 16-37-10500.

В научном издании представлены материалы Девятнадцатой международной научной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь» по следующим направлениям:

- Оптимизация архитектуры компьютерных и телекоммуникационных сетей;
- Управление в компьютерных и телекоммуникационных сетях;
- Оценка производительности и качества обслуживания в беспроводных сетях;
- Аналитическое и имитационное моделирование коммуникационных систем последующих поколений;
- Беспроводные сети 4G/5G и технологии сантиметрового и миллиметрового диапазона радиоволн;
- RFID-технологии и их применение в интеллектуальных транспортных сетях;
- Интернет вещей, носимые устройства, приложения распределенных информационных систем;
- Распределенные системы и системы облачного вычисления, анализ больших данных;
- Вероятностные и статистические модели в информационных системах;
- Теория очередей, теория надежности и их приложения;
- Математическое моделирование высокотехнологичных систем;
- Математическое моделирование и задачи управления.

Сборник материалов конференции предназначен для научных работников и специалистов в области теории и практики построения компьютерных и телекоммуникационных сетей.

Текст воспроизводится в том виде, в котором представлен авторами

Утверждено к печати Программным комитетом конференции

ISBN 978-5-209-07669-8 (т. 3)

ISBN 978-5-209-07666-7

©Коллектив авторов, 2016

©Российский университет дружбы народов, 2016

Contents

Abaev P.O., Beschastny V.A., Tsarev A.S., Samouylov K.E. Network Resource Management	9
Abaev P.O., Beschastny V.A., Samouylov K.E. Tractable distance distribution approximations for hardcore processes	17
Abrosimov L.I., Rudenkova M.A. Analysis of Throughput Wireless Media and Settings for Access Point Data Layer	26
Abrosimov L.I., Larin A.A. Minimization of Data Center Cost Creating Monitoring System with Determinate Data Flow	34
Adkhamova A.S., Skubachevskii A.L. About damping problem for control system with delay	41
Aliev T.I., Sosnin V.V. Characteristics of Priority Queues with High Utilization Parameter	45
Begishev V.O., Petrov V.I., Samuylov A.K., Moltchanov D.A., Gaidamaka Yu.V. Modeling NB-IoT technologies for the Internet of Things Applications.	56
Belyaeva J.O., Skubachevskii A.L. Stationary solutions of the Vlasov equations for a two-component high temperature plasma.	60
Blinov A.I., Sevastianov L.A., Vasilyev S.A. Transport systems analysis using neural networks	65
Bogatyrev V.A., Parshutina S.A. Efficiency of Redundant Multipath Transmission of Requests Through the Network to Destination Servers	73
Bolotova G.O., Vasilyev S.A., Udin D.N. Systems of Differential Equations of Infinite Order with Small Parameter and Countable Markov Chains	81
Borodina A.B., Efrosinin D.V., Morozov E.V. Accelerated regenerative simulation of degradation process in the system with gradual and sudden failures	89
Dao T.N., Paramonov A.I. Analysis of communications network based unmanned aerial vehicles	92
Devyatkov V.V., Naung M.T. Model-oriented check the correctness of network interaction	101
Dinh T.D., Kirichek R.V. Development and research of methods of installation of wireless sensor nodes from UAV	114
Dolgushev R.A., Kirichek R.V. An Overview of Possible Testing Types and Methods for the Internet of Things	122

Eferina E. G., Kuznetsova O. V., Korolkova A. V., Kulyabov D. S., Sevastianov L. A. Spinor representation of Maxwell's equations	129
Fomin M. B., Ivanov A. E. Recognition of anchor points on three-dimensional objects by stereo images in machine vision systems	137
Gerasimenko M. A. Neuron Networks	143
Gevorkyan M. N., Demidova A. V., Korolkova A. V., Kulyabov D. S., Sevastianov L. A. Implementation of the Wiener stochastic process in OpenModelica	150
Gevorkyan M. N., Demidova A. V., Korolkova A. V., Kulyabov D. S., Sevastianov L. A. About extensions programming for OpenModelica	158
Glukhov I. V., Orlov Y. N. Modeling of stock prices in the density distribution of a product of processes Weibull	165
Gorbunova A. V., Kradeniyh A. A., Zaryadov I. S. The mathematical model of a cloud computing system	169
Gorshenin A. K., Korolev V. Yu. On noising of data to refine the output of moving separation of mixtures	176
Grebeshkov A. Yu., Zuev A. V., Kiporov D. S. Computer Simulation of Average Channel Access Delay in Cognitive Radio Network	184
Hussein O. A., Okuneva D. V. Analysis of D2D technologies impact on the operation of wireless networks	191
Izmaylova Y. The research of retrieval queueing systems with exclusion of customers	198
Kalimulina E. Yu. Queueing System Convergence Rate	203
Kalinina K. A. Effective bandwidth estimation in highly critical systems	212
Kanzitdinov S. K., Vasilyev S. A. Neural networks with an infinite number of cells analysis	216
Kaspirovich I. E. Analysis of Numerical Solution Stability of Motion of Rolling Sphere on Rotating Plane	225
Kochegarov V. M., Zorine A. V. Low-priority queue and server's steady-state existence in a tandem under prolongable cyclic service	232
Kokshenev V., Mikheev P., Suschenko S., Tkachev R. Analysis of the effectiveness of forward error correction in selective mode of transport protocol	240
Kolbasova V., Lisovskaya E., Moiseeva S. Total capacity of customers in infinite-server queueing system with stationary renewal arrivals	248

Kolechkin A.O., Vladiko A.G. Software for testing of controllers in software-defined networks	256
Kolomoitcev V.S., Bogatyrev V.A. The Fault-tolerant Structure of Multilevel Secure Access to the Resources of the Public Network	264
Korshok E.O., Vasilyev S.A. Solutions analysis of infinite order singular perturbed stochastics differential equation	272
Korzun D.G., Vdovenko A.S., Bogoiavlenskaia O.I. On Convergence of Active Control Strategies for Subscription Notification Delivery in Smart Spaces	281
Koucheryavy A., Makolkina M.A., Paramonov A.I. Applications of augmented reality traffic and quality requirements study and modeling	289
Kovalchukov R., Samuylov A.K., Moltchanov D.A., Andreev S., Samouylov K.E. The three-dimensional simulation framework for interference and SIR assessment	301
Kulik V.A., Vybornova A.I. Methods of complex testing the devices of the Internet of Things	305
Lisovskaya E., Moiseeva S., Pagano M. The total capacity of customers in the MMPP/GI/ ∞ queueing system	313
Makolkina M.A., Surodeeva E.V. Study of the interrelationship of subjective perception of the video quality and Hurst parameter of traffic	326
Morozov E.V., Potakhina L.V. Speed-up estimation of a system with random volume customers	334
Morozov E., Peshkova I., Rumyantsev A. On regenerative envelopes for high performance cluster simulation	337
Nazarov A.A., Fedorova E. Asymptotic analysis of retrial queue M/M/1 with impatient calls under the long patience time condition	342
Nazarov A.A., Broner V.I. Inventory management system with On/Off control and phase-type distribution of purchases quantity	349
Nazarov A.A., Pomortseva N.A. Asymptotic analysis of M/GI/1 retrial system with conflicts and afterservice	356
Okuneva D.V., Proshutinskiy K.S. Improving of the traffic balancing efficiency on the base of estimations of user attention concentration	363
Pirmagomedov R., Hudoev I., Shangina D. Simulation of Medical Sensor Nanonetwork Applications Traffic	371
Schetinin E.Yu., Merzlyakov V. Statistical extreme type dependence structures modeling in spatial domains	381

Serebryakova A. A., Kulik V. A., Pham V. D., Kirichek R. V. Effect of Traffic IoT on network equipment	388
Shilin P. A., Kirichek R. V. Research the possibility of using UAVs swarm for organization VANET infrastructure	394
Shklyueva A. V., Kirichek R. V. An Overview of Possible Testing Types and Methods for the Flying Ubiquitous Sensor Networks	401
Sopin E. S., Daraseliya A. V., Yarkina N. V. On the virtual machines migration effectiveness in cloud systems	408
Sosnin V. V. Per-Packet Load Balancing of TCP Traffic for Goodput Aggregation of Communication Channels with Asymmetric Transmission Delay	412
Teltevskaya V. A., Makolkina M. A. Method for evaluating the quality of experience in augmented reality systems	419
Velieva T. R., Korolkova A. V., Kulyabov D. S., Sevastianov L. A. Hybrid simulation of active traffic management	427
Vishnevsky V. M., Ivanov R. E., Larionov A. A., Dudin M. S. Optimisation of data transmission scheduling in 5G mmWave backhaul network with STDMA	435
Yapo G. S., Milovanova T. A., Zaryadov I. S. Interval estimation of system performance with the optimal choice.	445
Zadiranova L., Melikov A., Moiseev A. Asymptotic Analysis of Queueing System with MMPP Arrivals and Feedback.	452
Zaryadov I. S., Matskevich I. A., Scherbanskaya A. A. The queueing system with general renovation and repeated service — time-probability characteristics.	458
Fedorov S. L. Kinetic approach in models of forecasting non-stationary time-series and functional calculations on them.	463
Gorbunova A. V., Zaryadov I. S., Matushenko S. I., Sopin E. S. The Estimation of Probability Characteristics of Cloud Computing Systems with Splitting of Requests.	467
Houankpo H. G. K., Kozyrev D. V. Sensitivity analysis of steady state reliability characteristics of a cold redundant data transmission system to the shapes of lifetime and repair time distributions of its elements	473
Ustyuzhanin N., Gilmudinov M. Analysis of background modeling methods performance in lossy video compression systems	481
Zaryadov I. S., Razumchik R. V. Stationary waiting time in $G/M/n/r$ FCFS queue with random renovation	489

УДК 004.94+519.62

Особенности расширения системы OpenModelica

М. Н. Геворкян*, А. В. Демидова*, А. В. Королькова*,
Д. С. Кулябов*[†], Л. А. Севастьянов*[‡]

* Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей,
Российский университет дружбы народов,
ул. Миклуто-Маклая, д.6, Москва, Россия, 117198

† Лаборатория информационных технологий,
Объединённый институт ядерных исследований,
ул. Жолио-Кюри 6, Дубна, Московская область, Россия, 141980

‡ Лаборатория теоретической физики,
Объединённый институт ядерных исследований,
ул. Жолио-Кюри 6, Дубна, Московская область, Россия, 141980

Аннотация. Система OpenModelica является открытой реализацией языка компонентно-ориентированного моделирования Modelica и основывается на множестве открытых библиотек и компиляторе C/C++ из GNU Compiler Collection. Целью данной заметки является краткое описание основных компонентов OpenModelica, используемых в этой системе библиотек, а также пошаговое руководство по использованию внешних функций, написанных на языке C, в коде OpenModelica. Используется сборка OpenModelica 1.11.0-dev-15 для дистрибутива Ubuntu Linux версии 16.04. В работе кратко описаны основные шаги, которые необходимо совершить пользователю для успешного вызова C-функций непосредственно из программ OpenModelica. Указаны некоторые особенности, которые отсутствуют в официальной документации.

Ключевые слова: Modelica, OpenModelica, моделирование.

1. Введение

Данная статья посвящена обзору возможностей расширения системы OpenModelica [1] [2] с помощью вызова внешних функций, написанных на языке C. Кроме того описываются основные компоненты данной системы и внешние библиотеки, которые используются для численного решения уравнений, которые являются основой практически любой модели. Выбор той или иной процедуры для численного решения

2. Основные компоненты OpenModelica

Первая версия языка Modelica была опубликована в 1997 году. В 2000 году была создана некоммерческая ассоциация, целью которой является развитие стандарта языка и стандартной библиотеки. Начиная с 2002 года проводится регулярная конференция, по результатам которой публикуются материалы, часть из которых доступна на официальном сайте. Ассоциация Modelica разрабатывает лишь стандарт, поэтому существует несколько различных реализаций этого стандарта

2.1. Реализации языка Modelica

Кроме свободной реализации OpenModelica существует большое количество коммерческих реализаций языка Modelica, включенных в пакеты программ для инженерных и математических расчетов: LMS Imagine.Lab Amesim [3], Dymola [4], Wolfram System Modeler [5] и MampleSim [6]. Кроме OpenModelica существуют другие свободные реализации: JModelica.org [7] и Modelicas в составе SciLab [8]. Полный обновляемый список программного обеспечения доступен на официальном сайте ассоциации Modelica [2].

2.2. Компоненты OpenModelica

В состав OpenModelica входит около десяти компонент. Кратко опишем основные из них (полный список доступен на официальном сайте [1] в разделе Tools and Apps).

- Advanced Interactive OpenModelica Compiler (OMC) — центральный компонент всего пакета программ. Предназначен для компиляции modelica-кода в код на языке Си.
- Интерактивная оболочка OMShell — выполняет роль интерактивной консоли для выполнения команд Modelica.
- OMNotebook — интерактивная среда для выполнения фрагментов кода Modelica с возможностью отображения графиков. Создан по аналогии с интерактивными оболочками Maple, Mathematica, iPython и других.
- OMEdit — редактор для исходного кода, а также для визуального программирования путем соединения блоков между собой. Непосредственно из OMEdit можно запустить компиляцию созданных моделей и просмотреть результаты моделирования в виде графиков, зависящих от времени.

Основным средством для написания программ на языке Modelica может служить OMEdit, который по сути является интегрированной средой разработки и поддерживает отладку, подсветку синтаксиса, автоматическое форматирование и т.д. Интерактивная оболочка OMNotebook удобна для экспериментирования с частями программы, в случае если четкий алгоритм работы программы еще не ясен, так как OMNotebook позволяет интерактивно выполнять фрагменты кода, сразу же получая результаты их работы.

3. Встроенные численные методы

Основным содержимым классов в программе, написанной на языке Modelica, являются системы линейных, нелинейных и дифференциальных уравнений. Специализированный процессор анализирует заданную систему уравнений и определяет порядок вычисления переменных и используемый численный метод. Выбор численного метода не

доступен пользователю в явном виде и скрыт в настройках симуляции. Опишем основные из этих методов и дадим ссылки на используемые открытые библиотеки.

Для численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений в OpenModelica используются следующие численные методы.

- Метод Эйлера (euler) [9, 10, §I.7].
- Метод Рунге-Кутты 4-го порядка (rungekutta) [9, 10, §II.1].
- Метод Адамса-Мултона 1-5 порядков (dassl) [9, 10, §III.5].
- Метод Радо ПА (radau1,3,5) и метод Лобатто ПА (lobatto2,4,6) [9, 10, §II.7].

Метод Адамса-Мултона используется по умолчанию и это единственный метод с управлением шагом.

Для решения систем линейных уравнений используются процедуры из различных библиотек, таких как lapack [11], lis [12], umfpack [13], totalpivot. Для нелинейных систем: hybrid, kinsol [14], newton, homotopy, mixed.

Результат вычислений по умолчанию сохраняется во временной директории в виде файла формата **mat**. Данный формат бинарный, является родным для пакета математических вычислений MATLAB и используется для хранения матричных данных. В окне настройки симуляции можно дополнительно выбрать **plt** и **csv** форматы. Формат **plt** разработан компанией HP для печати на плоттерах и чаще всего используется в программе AutoCAD. Формат **csv** наиболее простой из вышеперечисленных. Он является текстовым и представляет собой таблицу данных, разделенных запятыми или иным разделителем.

Знание используемых численных методов важно, так как каждый из этих методов имеет свою область применения и может работать некорректно в случае специфической системы уравнений. В случае прямолинейного применения средства моделирования Modelica могут давать некорректные результаты. Так например, в случае необходимости численного интегрирования систем уравнений на длительном промежутке времени может возникнуть необходимость в использовании геометрических численных методов [15, 16] для предотвращения накопления ошибки. Из изложенного выше следует, что OpenModelica такие методы не поддерживает.

4. Подключение внешних C функций к OpenModelica

Перейдем к рассмотрению процесса подключения внешних функций к программе на OpenModelica. Соответствующий раздел в официальной документации при описании данной процедуры упускает несколько существенных деталей и следование его указаниям приводит к ошибке. Все описанные нами действия проводились на компьютере под управлением операционной системы Ubuntu Linux версии 16.04 LTS и OpenModelica версии 1.11.0-dev-15.

При компиляции кода OpenModelica программа транслируется в С-код, который затем обрабатывается уже С-компилятором. Поэтому поддержка С-функций реализована в OpenModelica на уровне архитектуры. Кроме языка С OpenModelica поддерживает также вызов Fortran (только F77) и Python функций. Однако оба этих языка поддерживаются косвенным путем, а именно с помощью обертывания их в соответствующие С-функции.

Использование внешних С-функций может понадобиться по разным причинам: повышение быстродействия ресурсоёмких компонент программы, необходимость использования полноценного императивного языка программирования, использование уже существующего С-кода т.д.

Приведем простейший пример вызова С функций из программы написанной на языке Modelica. Создадим два исходных файла ExternalFunc1.c и ExternalFunc2.c. В этих файлах будут содержаться простейшие функции, которые мы хотим использовать в нашей программе на языке Modelica.

```
// Файл ExternalFunc1.c
double ExternalFunc1_ext(double x)
{
    return x+2.0*x*x;
}

// Файл ExternalFunc2.c
double ExternalFunc2(double x)
{
    return (x-1.0)*(x+2.0);;
}
```

В директории, где находится исходный код программы на языке Modelica необходимо создать каталог Resources а в нем каталог Library, в котором будут находиться оба наших файла ExternalFunc1.c и ExternalFunc2.c. После этого следует создать объектные файлы и поместить их в архив, который будет служить подключаемой библиотекой. Для этого следует выполнить ряд команд.

```
gcc -c -o ExternalFunc1.o ExternalFunc1.c
gcc -c -o ExternalFunc2.o ExternalFunc2.c
ar rcs libExternalFunc1.a ExternalFunc1.o
ar rcs libExternalFunc2.a ExternalFunc2.o
```

Для создания объектных файлов мы использовали утилиту компиляции gcc с опцией -c и архиватор ar для помещения созданных объектных файлов в архив. В результате мы получим два файла libExternalFunc1.a и libExternalFunc2.a. Есть также возможность поместить все необходимые нам объектные файлы в один архив.

Для вызова внешних функций следует использовать ключевое слово external. Название функции-обертки на языке Modelica может как

совпадать, так и отличаться от названия внешней функции. Во втором случае необходимо явно указать какую внешнюю функции следует обернуть.

```
model ExternalLibraries
// Название функции не совпадает с названием функции
// на языке C
function ExternalFunc1
  input Real x;
  output Real y;

// Явно указываем название C-функции
external y=ExternalFunc1_ext(x)
  annotation(Library="ExternalFunc1");
end ExternalFunc1;

function ExternalFunc2
input Real x;
output Real y;
// Названия функций совпадают, поэтому явное указание
// не требуется
external "C" annotation(Library="ExternalFunc2");
end ExternalFunc2;

Real x(start=1.0, fixed=true), y(start=2.0, fixed=true);
equation
  der(x)=-ExternalFunc1(x);
  der(y)=-ExternalFunc2(y);
end ExternalLibraries;
```

Заметим, что в аннотации название подключаемой библиотеки указано как `ExternalFunc1`, в то время как сам файл называется `libExternalFunc1.a`. Это не является опечаткой и приставку `lib` необходимо добавлять ко всем библиотечным файлам.

Из примера видно, что тип `Real` языка `Modelica` соответствует типу `double` языка `C`. Кроме того тип `Integer` и `Boolean` соответствуют типу `int`. Массивы типа `Real` и `Integer` также переводятся в массивы типа `double` и `int`.

Стабильно работает вызов функций с аргументами типа `int` и `double`, а также массивами этих типов. Попытка же уточнить используемый тип, например `long long int` или использовать беззнаковый тип, например `unsigned int` приводит к ошибке.

5. Заключение

В статье были описаны используемые в `OpenModelica` численные методы и библиотеки. Эти сведения позволят пользователю, планирующему использовать `OpenModelica`, заранее решить сумеет ли

OpenModelica справится с корректным решением используемых для моделирования уравнений. вызова внешних функций из программы, написанной на языке OpenModelica. Также подробно освещена процедура подключения внешних C-функций к программе на OpenModelica. Описаны некоторые пункты, опущенные в официальной документации.

Благодарности

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 14-01-00628, 15-07-08795 и 16-07-00556.

Литература

1. OpenModelica official site. — URL: <https://www.openmodelica.org/> (online; accessed: 19.06.2016).
2. Modelica and the Modelica Association official site. — URL: <https://www.modelica.org/> (online; accessed: 19.06.2016).
3. LMS Imagine.Lab Amesim. — URL: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/lms/imagine-lab/amesim/index.shtml (online; accessed: 19.06.2016).
4. Multi-Engineering Modeling and Simulation - Dymola - CATIA. — URL: <http://www.3ds.com/products-services/catia/products/dymola> (online; accessed: 19.06.2016).
5. Wolfram SystemModeler. — URL: <http://www.wolfram.com/system-modeler/index.ru.html> (online; accessed: 19.06.2016).
6. MapleSim - High Performance Physical Modeling and Simulation - Technical Computing Software. — URL: <http://www.maplesoft.com/products/maplesim/index.aspx> (online; accessed: 19.06.2016).
7. Jmodelica.org. — URL: <http://www.jmodelica.org/> (online; accessed: 19.06.2016).
8. SciLab. — URL: <http://www.scilab.org/> (online; accessed: 19.06.2016).
9. Hairer E., Nørsett S. P., G.Wanner. Solving Ordinary Differential Equations I. — 2 edition. — Berlin : Springer, 2008.
10. Хайрер Э. and Нёрсетт С. and Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи / Под ред. С. С. Филиппова. — 1 изд. — Москва : Мир, 1990.
11. LAPACK — Linear Algebra PACKage. — URL: <http://www.netlib.org/lapack/> (online; accessed: 19.06.2016).
12. Nishida A., Fujii A., Oyanagi Y. Lis: Library of Iterative Solvers for Linear Systems. — URL: http://www.phy.duke.edu/~rgb/General/rand_rate.php (online; accessed: 19.06.2016).

13. SuiteSparse : a suite of sparse matrix software. — URL: <http://faculty.cse.tamu.edu/davis/suitesparse.html> (online; accessed: 19.06.2016).
14. Collier A. M., Hindmarsh A. C., Serban R., Edward C. S. W. User Documentation for KINSOL v2.8.2. — 2015. — URL: http://computation.llnl.gov/sites/default/files/public/kin_guide.pdf.
15. Hairer E., Lubich C., Wanner G. Geometric numerical integration: structure-preserving algorithms for ordinary differential equations. Springer series in computational mathematics. — Springer, 2006.
16. Sanz-Serna J., Calvo M. Numerical Hamiltonian Problems. — 1 edition. — London : Chapman and Hall, 1994.

UDC 004.94+519.62

About extensions programming for OpenModelica

M. N. Gevorkyan*, A. V. Demidova*, A. V. Korolkova*,
D. S. Kulyabov*[†], L. A. Sevastianov*[‡]

* *Department of Applied Probability and Informatics
RUDN University*

Miklukho-Maklaya str. 6, Moscow, 117198, Russia

[†] *Laboratory of Information Technologies
Joint Institute for Nuclear Research*

Joliot-Curie 6, Dubna, Moscow region, 141980, Russia

[‡] *Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics
Joint Institute for Nuclear Research*

Joliot-Curie 6, Dubna, Moscow region, 141980, Russia

OpenModelica is an open implementation of Modelica — the component-oriented modeling language. It is based on many open source libraries and C/C++ compiler from the GNU Compiler Collection. The goal of this short paper is a brief description of the main components of the OpenModelica, libraries, which are used in it, as well as step-by-step guidance on using external functions written in C. We use OpenModelica build 1.11.0-dev-15 for Ubuntu 16.04 LTS. This short paper briefly describes the main steps that a user need to implement for successful call of C-functions directly from OpenModelica code. In addition, some features are specified which do not exist in official documentation.

Keywords: Modelica, OpenModelica, modelling.