УДК 004.942+004.272

АСПЕКТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ МУЛЬТИАГЕНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Феоктистов Александр Геннадьевич
К.т.н., доцент, с.н.с. лаборатории
«Параллельные и распределенные вычислительные системы»,
Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова 134, e-mail: agf65@yandex.ru
Корсуков Александр Сергеевич
К.т.н., н.с. лаборатории «Параллельные и распределенные вычислительные системы»,
Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова 134, e-mail: alexask@mail.ru
Дядькин Юрий Алексеевич
Аспирант, Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова 134, e-mail: dyadkin_ua@inbox.ru

Аннотация. В статье представлено развитие исследований по анализу эффективности и надежности распределенной вычислительной среды. Основное внимание уделено вопросам автоматизации построения имитационной модели мультиагентной системы управления вычислениями в распределенной вычислительной среде. Процесс создания имитационной модели базируется на использовании каркасного подхода к конструированию программ. Гибкая модернизация фрагментов, моделирующих отдельных агентов, обеспечивается возможностью подключения к модели «внешних» библиотек алгоритмов функционирования этих агентов. Процесс подключения «внешних» библиотек и разработки алгоритмов функционирования агентов определяется специальными интерфейсами и спецификациями.

Ключевые слова: распределенная вычислительная среда, имитационное моделирование, инструментальный комплекс, интерфейс пользователя, каркасный подход.

Введение. В настоящее время требуемая эффективность управления масштабируемыми приложениями в современной разнородной распределенной вычислительной среде (РВС) [1, 2, 4] может быть достигнута только за счет интеллектуализации системы управления [7]. Масштабируемость вычислений заключается в том, что вычислительная нагрузка, связанная с решением задачи, распределяется между вычислительными единицами разнородных узлов РВС, а время решения задачи уменьшается обратно пропорционально числу вычислительных единиц с учетом их производительности в составе конкретного узла РВС. Широко распространенным на практике подходом к интеллектуализации систем управления распределенными вычислениями [13, 14, 16] является применение мультиагентных технологий [15]. Для повышения эффективности системы управления распределенными вычислениями в РВС требуется исследование

алгоритмов планирования вычислений и распределения ресурсов, используемых в этой системе, на основе имитационного моделирования.

1. Инструментальный комплекс SIRIUS II. Для исследования эффективности алгоритмов планирования вычислений и распределения ресурсов РВС [3] в ИДСТУ СО РАН разрабатывается специализированный инструментальный комплекс (ИК) SIRIUS II, архитектура которого представлена на рис. 1.

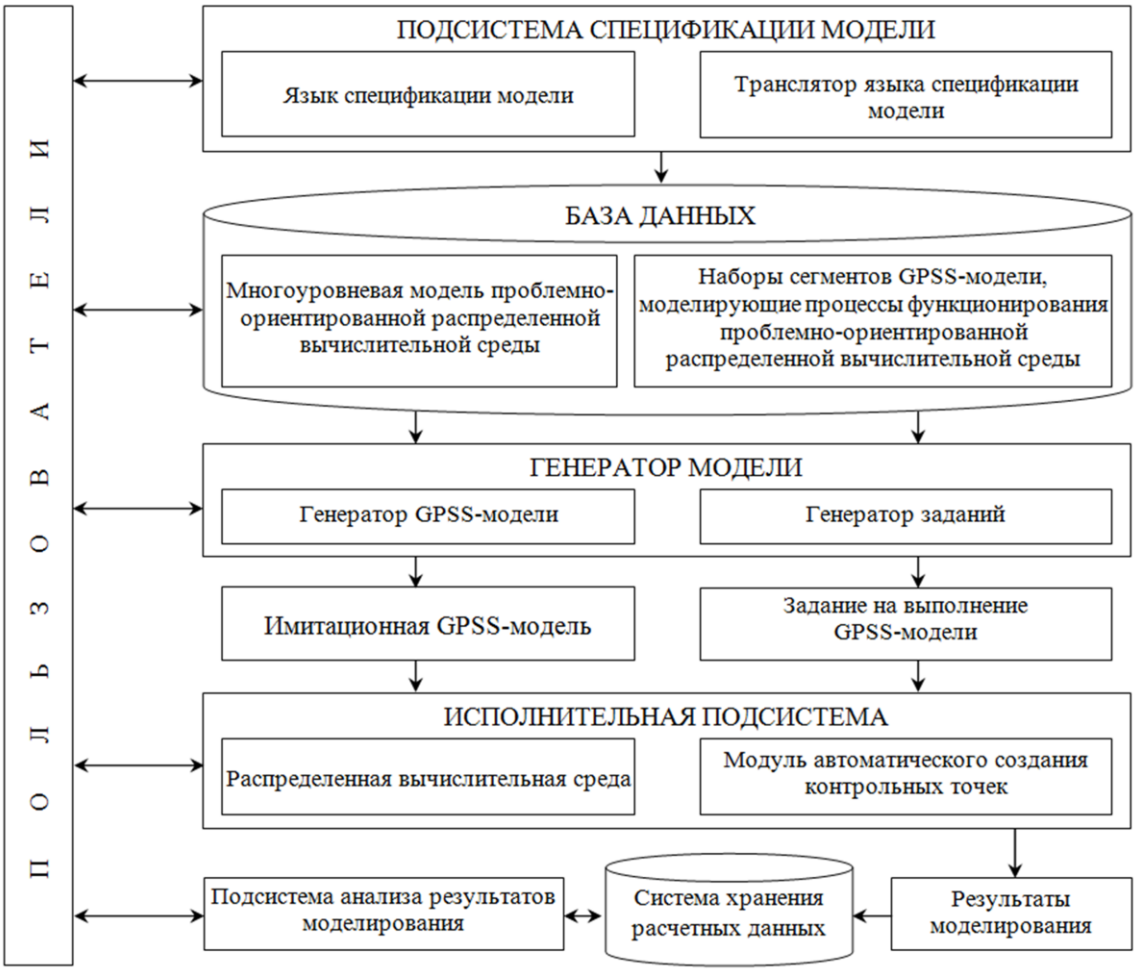

Рис. 1. Архитектура инструментального комплекса SIRIUS II

При создании агрегированной имитационной модели используется подсистема спецификации модели ИК SIRIUS II, представляющая собой инструментальное средство, обеспечивающее: описание агрегированной многоуровневой имитационной модели с высокой степенью привязки к конкретной предметной области; трансляцию данного описания в термины языка SQL для получения файла базы данных; автоматическое построение пользовательского графического интерфейса для взаимодействия пользователей различных категорий с инструментальным комплексом и наполнения специфицированной модели реальными данными. Построение пользовательского графического интерфейса для подсистемы спецификации модели осуществляется с помощью системы ГеоАРМ [10, 11]. Схема работы подсистемы спецификации модели представлена на рис. 2.

Разрабатываемое инструментальное средство функционирует на верхнем уровне архитектуры ИК, отвечает за подсистему спецификации модели и обеспечивает работу с

различными категориями пользователей: разработчиками моделей и конечными пользователями, использующими разработанные модели.

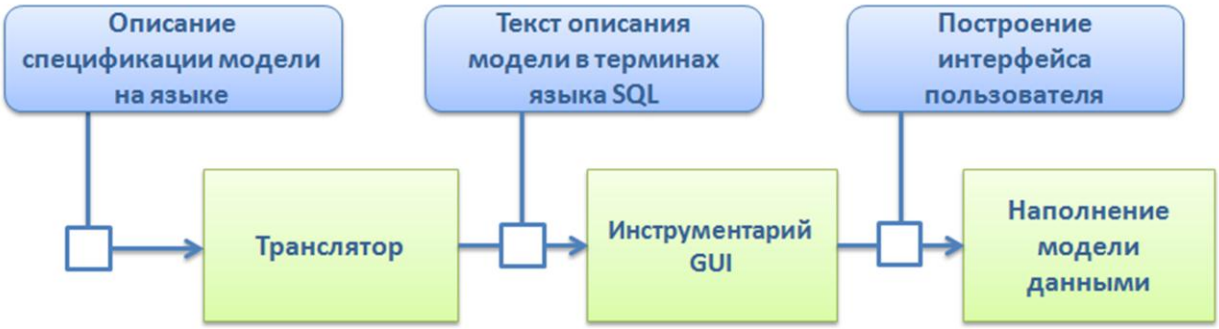

Рис. 2. Схема работы подсистемы спецификации модели

Разработчик модели описывает имитационную модель на специальном языке. Затем модель транслируется в термины языка SQL. Описание модели на языке SQL передается системе ГеоАРМ для построения уникального графического пользовательского интерфейса для каждой конкретной модели, после чего разработчик модели может наполнять ее необходимыми данными. Совокупность описаний (библиотека) имитационных моделей хранится в специальной БД. Данная технология предполагает создание библиотеки моделей, которые впоследствии могут быть использованы другими специалистами предметной области для создания своих моделей. Существует возможность импорта данных из уже готовых моделей, обеспечивающая комплексирование по данным.

Язык спецификации модели относится к языкам описания онтологий [8] и предназначен для описания модели РВС и включает в себя набор базисных символов (символы входного алфавита, константы, имена операторов, специальные символы) и множество операторов. Операторы специфицируют операции создания элементов модели, а также задания отношений между этими элементами. Операции изменения и удаления элементов модели не предусмотрены в языке. Отсутствие необходимости этих операторов обусловлено двумя режимами работы транслятора модели: режим добавления (при котором создаются новые элементы модели) и режим замещения (при котором ранее созданные конкретным пользователем элементы удаляются и создаются новые), что позволяет сделать язык более компактным.

Разработка специализированного языка спецификации модели обусловлена тем, что описание такой модели с помощью языков аналогичного назначения [8], например, язык Resource Description Framework (RDF), в 2-2.5 раза превышает объем текста модели рассматриваемого языка.

Генаратор модели предназначен для автоматизации построения имитационной модели на языке GPSS [12] на основе каркасного подхода с использованием библиотеки готовых программных фрагментов, моделирующих процессы функционирования РВС.

Исполнительная подсистема обеспечивает параллельное проведение многовариантных имитационных расчетов на основе созданных моделей с поддержкой механизмов контрольных точек.

Подсистема анализа результатов моделирования использует традиционные для GPSS-моделей средства факторного и регрессионного анализа данных [12], а также реализует

различные механизмы многокритериального выбора значений наблюдаемых переменных модели [9].

2. Каркасный подход. Имитационная модель строится на базе специфицированной модели РВС с применением языка GPSS и использованием каркасного подхода [5] (рис. 3).

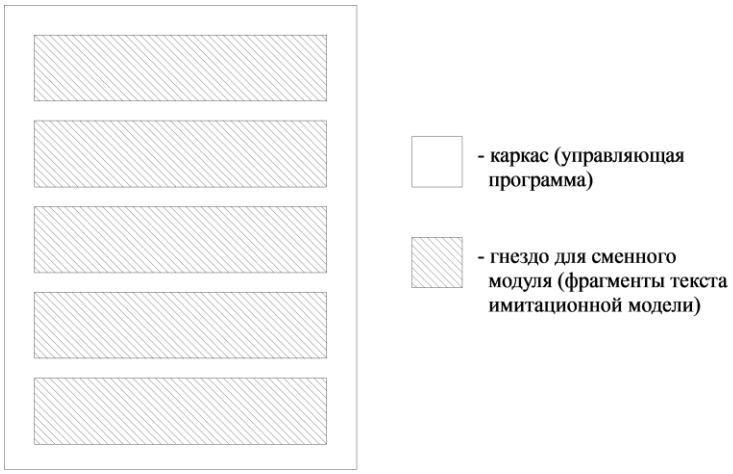

Рис. 3. Каркасный подход

В контексте данного подхода каждая версия пакета программы состоит из двух обязательных частей: каркаса и гнезд. Каркас имитационной модели представляет собой неизменяемую от версии к версии часть программы и включает в себя совокупность изменяемых частей – гнезд, в которые помещаются сменные модули.

Совокупность модулей представляет собой библиотеку фрагментов имитационной модели, каждый из которых моделирует отдельный процесс объекта изучаемой системы. Варьируя содержимым гнезд в различных комбинациях можно достичь всего многообразия формируемых версий.

Так, например, в каркасе выделяются несколько блоков: для описания переменных, констант, процедур и задания модельного времени.

В работе [6] подробно описывается процесс создания имитационной модели для анализа работы локальной вычислительной сети. Для проведения эксперимента может понадобиться многократный прогон модели с различными параметрами: число узлов, обменивающихся информацией, число коммуникационных устройств, связывающих сетевые узлы, описание параметров локальной вычислительной сети (задержка пакета на концентраторе, время ожидания ответа узлом отправителем и так далее), закон распределения поступления сообщений в сеть, различные алгоритмы имитации обмена информационными сообщениями, описание алгоритмов агентов для распределения вычислительных ресурсов РВС. Чтобы автоматизировать процесс создания отличающихся имитационных моделей используются гнезда, в которых могут быть подставлены соответствующие модули. На рисунках 4-7 мы видим гнезда имитационной модели, в которых находятся модули, задающие общие параметры сети, параметры узлов, концентраторов и агентов.

```
MIN_FRAME_SIZE      EQU     512         ; Минимальный размер кадра (72 байта)
MAX_FRAME_SIZE      EQU     12176       ; Максимальный размер кадра (72 байт)
SEND_FRAME_TIME     EQU     0.001       ; Время на передачу 1 бита кадра (0.1 микросекунды)
INTERFRAME          EQU     0.096       ; Выдержка перед выдачей кадра на узле (9.6 микросекунды)
INTERFRAME_TIME     EQU     960000      ; Среднее время поступления кадров (300 билетов/с)
FRAME_RETRIES       EQU     16          ; Количество попыток передачи кадра при коллизии
Fraction_Short_Msgs EQU     600         ; Short Msgs in parts per thousand
JAM_TIME            EQU     0.032       ; Время на передачу специальной Jam-последовательности при коллизии
```

Рис. 4. Сменный модуль для задания параметров сети

```
HUB_COUNT           EQU     7           ; Количество концентраторов
HUB_DELAY           EQU     0.019       ; Задержки на концентраторе
```

Рис. 5. Сменный модуль для задания параметров концентраторов

```
HUB_COUNT           EQU     7           ; Количество концентраторов
HUB_DELAY           EQU     0.019       ; Задержки на концентраторе
```

Рис. 6. Сменный модуль для задания параметров узлов

```
PROCEDURE Define_class()
BEGIN
  return Call_String("lib.dll","Def_class","35");
END;
```

Рис. 7. Сменный модуль для вызова агента, определяющего класс задания

Таким образом, сочетая модули в необходимом нам порядке, мы получаем отдельные версии имитационных моделей, каждая из которых может быть протестирована на отдельном узле РВС, что позволяет сэкономить время на прогонах.

3. Генератор модели. Для создания каркаса модели и выделения в нем необходимого количества гнезд различного назначения используется приложение «Конструктор модели», представленный на рис. 8.

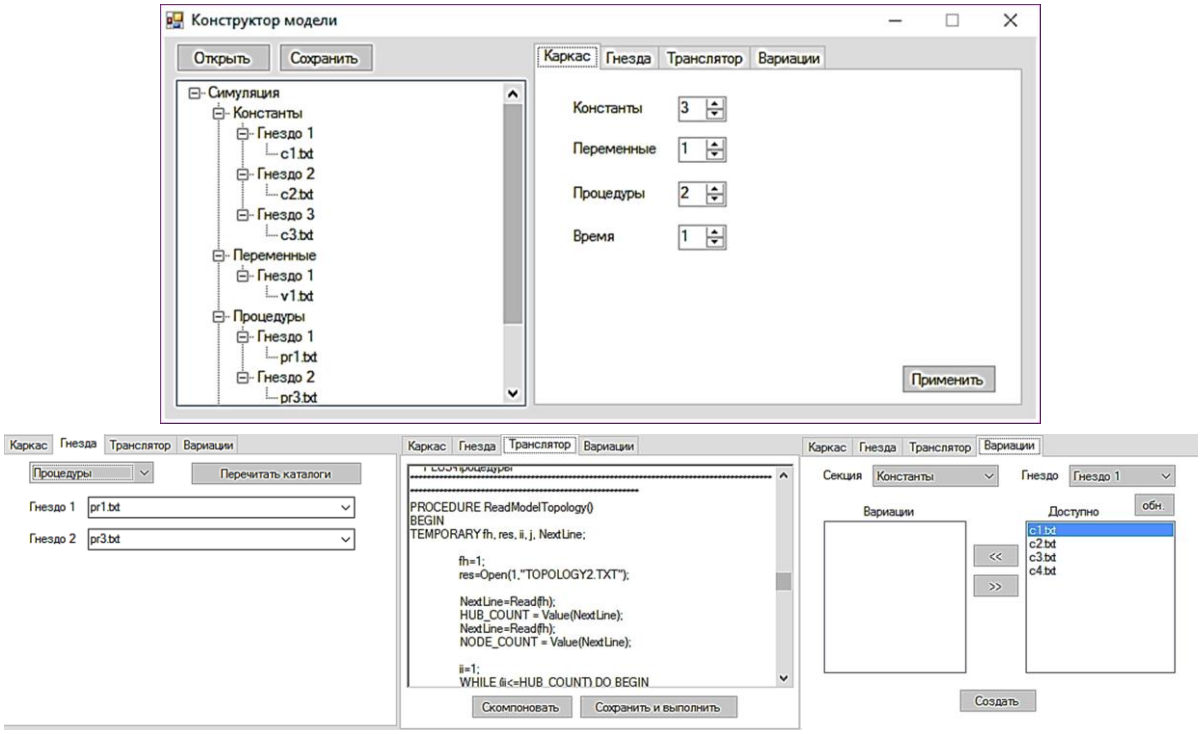

Рис. 8. Конструктор модели для формирования каркаса, гнезд и подстановки модулей

На вкладке «Каркас» формируется каркас имитационной модели и определяется число гнезд различного назначения: для констант, переменных, пользовательских процедур и задания модельного времени. После того, как каркас создан, на вкладке «Гнезда» можно подставить в выделенные гнезда соответствующие модули. Вкладка «Транслятор» позволяет получить полный текст модели. Вкладка «Вариации» необходима для создания множества вариантов имитационной модели с различным наполнением гнезд.

Заключение. Рассмотренный подход к созданию агрегированных многоуровневых имитационных моделей с использованием ИК SIRIUS II позволяет автоматизировать процесс создания имитационных моделей, описывать предметно-ориентированные имитационные модели для РВС различным категориям пользователей с высокой степенью привязки к моделируемой предметной области; обеспечивает открытый доступ к библиотекам моделей и позволяет использовать их как шаблоны для создания новых моделей, анализировать эффективность алгоритмов агентов для планирования вычислений и распределения ресурсов РВС.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 15-29-07955-офи_м и № 16-07-00931-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков И.В., Корсуков А.С., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г. Инструментальный комплекс для организации гетерогенных распределенных вычислительных сред // Информационные технологии и вычислительные системы. 2010. № 1. С. 45-54.
2. Бычков И.В., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г., Корсуков А.С. Децентрализованное управление потоками заданий в интегрированной кластерной системе // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2011. Т. 9. Вып. 2. С. 42-54.
3. Бычков И.В., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г., Корсуков А.С. Испытание и оценка надежности интегрированных кластерных систем на основе их комплексного моделирования // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 3. С. 3-8.
4. Бычков И.В., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г., Корсуков А.С. Распределение заданий в интегрированной кластерной системе на основе их классификации // Вычислительные технологии. 2013. Т. 18. № 2. С. 25–32.
5. Горбунов-Посадов М.М. Расширяемые программы / М.М. Горбунов-Посадов. М.: Полиптих. 1999. 336 с.
6. Дядькин Ю. А. Инструментальное средство моделирования разнородной распределенной вычислительной среды // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. Режим доступа: http://www.science-education.ru/122-21388 (дата обращения: 21.08.2015).
7. Коваленко В.Н., Корягин Д.А. Грид: истоки, принципы и перспективы развития // Информационные технологии и вычислительные системы. 2008. № 4. С. 38-50.
8. Лапшин В.А. Онтологии в компьютерных системах. М.: Научный мир. 2010. 224 с.
9. Феоктистов А.Г. Управление сложной системой на основе методологии многокритериального выбора управляющих воздействий // Фундаментальные исследования. 2015. № 9-1. С. 82-86.

10. Фереферов Е.С., Бычков И.В., Хмельнов А.Е. Технология разработки приложений баз данных на основе декларативных спецификаций // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19. № 5. С. 85 – 100.
11. Фереферов Е.С., Хмельнов А.Е. Автоматизация создания пользовательского интерфейса на основе модели приложения баз данных // Вестник Бурятского государственного университета. 2013. № 9. С. 100-118.
12. GPSS World Tutorial Manual. Режим доступа: http://www.minutemansoftware.com/tutorial/tutorial_manual.htm (дата обращения 13.06.2016).
13. Henderson R. Job scheduling under the portable batch system / Job scheduling strategies for parallel processing. Springer, 1995. Pp. 279–294.
14. Herrera J., Huedo E., Montero R., Llorente I. Porting of Scientific Applications to Grid Computing on GridWay // Scientific Programming. 2005. Vol. 13, № 4. Pp. 317–331.
15. Jennings N. An Agent-Based Approach for Building Complex Software Systems // Communications of the ACM. 2001. V. 44. № 4. Pp. 35-41.
16. Litzkow M., Livny M., Mutka M. Condor – A Hunter of Idle Workstations // 8th Int. Conf. of Distributed Computing Systems (ICDCS). IEEE CS Press. Los Alamitos. CA. USA. 1988. Pp. 104–111.

UDK 004.942+004.272

THE ASPECTS OF SIMULATION MODELING OF PROCESSES OF MULTIAGENT CONTROL OF DISTRIBUTED COMPUTING

Aleksandr G. Feoktistov
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor
Senior Research Officer of the Laboratory of Parallel and Distributed Computing Systems
Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
134, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: agf65@yandex.ru
Aleksandr S. Korsukov
Ph.D. of Engineering Sciences
Research Officer of the Laboratory of Parallel and Distributed Computing Systems
Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
134, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: alexask@mail.ru
Yuriy A. Dyad'kin
Post-graduate student
Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
134, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: dyadkin_ua@inbox.ru

Abstract. The authors of the article represent the development of researches on efficiency analysis and reliability of the distributed computing environment. The main attention is paid to automation in creation of a simulation model of a multiagent system

that controls computation in a distributed computing environment. The process of creation of a simulation model is based on use of frame approach to software development. The flexible upgrade of the fragments that simulate certain agents is attained with connection to model of "external" libraries of algorithms that provide agents functionality.

The special interfaces and specifications let a developer connect to "external" libraries that contain agents functionality algorithms.

Keywords: distributed computing environment, simulation modeling, toolkit, user interface, frame approach.

References

1. Bychkov I.V., Korsukov A.S., Oparin G.A., Feoktistov A.G. Instrumental'nyy kompleks dlya organizatsii geterogennykh raspredelennykh vychislitel'nykh sred [The toolkit for organization of heterogeneous distributed computing environment]. Information technologies and computing systems. 2010. No 1. Pp. 45-54. (in Russian).
2. Bychkov I.V., Oparin G.A., Feoktistov A.G., Korsukov A.S. Detsentralizovannoe upravlenie potokami zadaniy v integrirovannoy klasternoy sisteme [Decentralized job flow control in the integrated cluster system]. Novosibirsk State University Journal of Information Technologies. 2011. Vol. 9. No 2. Pp. 42-54. (in Russian).
3. Bychkov I.V., Oparin G.A., Feoktistov A.G., Korsukov A.S. Ispytanie i otsenka nadezhnosti integrirovannykh klasternykh sistem na osnove ikh kompleksnogo modelirovaniya [Testing and Evaluation of Reliability integrated cluster systems based on complex modeling]. Vestnik komp'iuternykh i informatsionnykh tekhnologii (Herald of computer and information technologies). 2013, No 3. Pp. 3-8. (in Russian).
4. Bychkov I.V., Oparin G.A., Feoktistov A.G., Korsukov A.S. Raspredelenie zadaniy v integrirovannoy klasternoy sisteme na osnove ikh klassifikatsii [The distribution of jobs in the integrated cluster system on the basis of their classification]. Computational Technologies. 2013. Vol. 18. No 2. Pp. 25–32. (in Russian).
5. Gorbunov-Posadov M.M. Rasshiriaemye programmy [Expanded programs]. Moscow, Poliptikh, 1999, 336 p. (in Russian).
6. Dyad'kin Yu. A. Instrumental'noe sredstvo modelirovaniya raznorodnoy raspredelennoy vychislitel'noy sredy [The Toolkit for Modeling of Heterogeneous Distributed Computing Environments]. Modern Problems of Science and Education. 2015. No 2. Available at: http://www.science-education.ru/122-21388, accessed 11.06.2016 (in Russian).
7. Kovalenko V.N., Koryagin D.A. Grid: istoki, printsipy i perspektivy razvitiya [Grid: sources, principles and development prospects]. Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy, 2008. No 4. Pp. 38-50. (in Russian).
8. Lapshin V.A. Ontologii v komp'yuternykh sistemakh [Ontologies in computer systems]. Moscow. Scientific world. 2010. 224 p. (in Russian).
9. Feoktistov A.G. Upravlenie slozhnoy sistemoy na osnove metodologii mnogokriteri-al'nogo vybora upravlyayushchikh vozdeystviy [The Management of Complex Systems Based on the Methodology of Multi-criteria Choice of Control Actions]. Fundamental research, 2015, no 9-1, pp. 82-86. (in Russian).

10. Fereferov E.S., Bychkov I.V., Khmel'nov A.E. Tekhnologiya razrabotki prilozheniy baz dannykh na osnove deklarativnykh spetsifikatsiy [Technology for database applications based on declarative specifications] / Computational technologies. 2014. Vol. 19. No 5. Pp. 85-100. (in Russian).
11. Fereferov E.S., Khmel'nov A.E. Avtomatizatsiya sozdaniya pol'zovatel'skogo interfeysa na osnove modeli prilozheniya baz dannykh [Automatization of user interface creation based on models of database application]. The Buryat State University Bulletin. 2013. No. 9. Pp. 100–109. (in Russian).
12. GPSS World Tutorial Manual. Available at: http://www.minutemansoftware.com/tutorial/tutorial_manual.htm, accessed 13.06.2016.
13. Henderson R. Job scheduling under the portable batch system / Job scheduling strategies for parallel processing. Springer. 1995. Pp. 279–294.
14. Herrera J., Huedo E., Montero R., Llorente I. Porting of Scientific Applications to Grid Computing on GridWay. Scientific Programming. 2005. Vol. 13. No 4, Pp. 317–331.
15. Jennings N. An Agent-Based Approach for Building Complex Software Systems. Communications of the ACM. 2001. Vol. 44. No 4, Pp. 35-41.
16. Litzkow M., Livny M., Mutka M. Condor – A Hunter of Idle Workstations. 8th Int. Conf. of Distributed Computing Systems (ICDCS). IEEE CS Press. Los Alamitos. CA. USA. 1988. Pp. 104–111.