

---

---

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

---

---

УДК 681.3.069, 681.324

А. В. БУХАНОВСКИЙ, В. Н. ВАСИЛЬЕВ, В. Н. ВИНОГРАДОВ, Д. Ю. СМИРНОВ,  
С. А. СУХОРУКОВ, Т. Г. ЯПАРОВ

## CLAVIRE: ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ

Рассмотрены особенности технологий облачных вычислений второго поколения, реализующих модель SaaS/AaaS. Описана многофункциональная технологическая платформа CLAVIRE, предназначенная для создания и исполнения композитных приложений на основе распределенных облачных сервисов.

*Ключевые слова:* облачные вычисления, сервисы, ресурсы, виртуализация, композитное приложение.

**Введение.** Парадигма облачных вычислений (cloud computing) ориентирована на модели, методы и технологии, позволяющие предоставлять пользователю удобный доступ к массиву конфигурируемых компьютерных и информационных ресурсов, которые могут быть быстро зарезервированы и высвобождены их провайдером [1]. Она обобщает и систематизирует известные бизнес-модели IaaS (инфраструктура как сервис), PaaS (платформа как сервис) и SaaS (программное обеспечение как сервис), рассматривая их как вложенные механизмы, реализуемые в облаке [2]. При этом в качестве предоставляемых ресурсов могут выступать вычислительные системы, хранилища данных, системные приложения, средства разработки, прикладные программы и композитные приложения на их основе. Для развитых сред облачных вычислений характерна интеграция различных бизнес-моделей, что связано, в первую очередь, с ориентацией на конкретные потребности пользователей в различных предметных областях. Для их классификации и анализа используется модель становления облачных вычислений ССММ (Cloud Computing Maturity Model) [3]. Она декларирует пять этапов развития облачных вычислений.

I. Консолидация и модернизация доступных ресурсов.

II. Виртуализация доступных ресурсов в рамках облачной парадигмы.

III. Автоматизация процессов использования виртуальных ресурсов с обеспечением адаптивности, безопасности и повторяемости.

VI. Обеспечение поддержки автоматизированных сервисов: проведение аудита, проверка отказоустойчивости, обеспечение качества.

V. Полнофункциональная реализация облачной инфраструктуры на основе объединения сервисов, находящихся в различных облачных средах.

В настоящее время развитие облачных инфраструктур (и реализующих их технологий) в полной мере обеспечивает прохождение *первых трех* этапов. Четвертый этап, связанный с проведением аудита, измерением производительности и полным контролем над выполнением

сервисов, к сожалению, находится в зачаточном состоянии, как в силу специфики измерения характеристик сервисов в распределенной среде, так и из-за отсутствия развитых сред облачных вычислений, требующих полномасштабного решения данных задач.

В настоящей статье представлена перспективная разработка, ориентированная на покрытие всех пяти этапов ССММ — многофункциональная инструментально-технологическая платформа CLAVIRE (CLOUD Applications VIRtual Environment).

**Облачные технологии второго поколения.** Технологии облачных вычислений имеет смысл разделить на два класса (по аналогии с технологиями Грид [4]): облачные вычисления первого (С-1) и второго поколения (С-2). Технологии первого поколения соответствуют этапам I—III ССММ и покрывают все три бизнес-модели (IaaS, PaaS, SaaS). Рынок таких решений уже достаточно насыщен, хотя продолжает эволюционировать весьма быстро [5]. Технологии С-2, напротив, во многом остаются предметом исследовательских проектов. Это связано с тем, что требования этапов IV—V ССММ реализуемы только при совокупном использовании возможностей современных информационных технологий и априорных знаний предметных областей, на которые ориентируется разработка. Иными словами, облачные вычисления второго поколения основываются на проблемно-ориентированных технологиях решения комплексных задач в распределенной вычислительной среде. При этом синергетическое сочетание моделей IaaS, PaaS, SaaS приводит к возникновению новой бизнес-модели — AaaS (приложение как сервис). Основной услугой в рамках данной модели является разработка и использование *композиционных приложений* — совокупности взаимодействующих сервисов в облачной среде, ориентированных на решение общей задачи.

В настоящее время развитию технологий С-2 препятствует ряд технологических аспектов:

— разнообразие и неоднородность предметно-ориентированных сервисов в неструктурированном облаке, что делает необходимым развитие интеллектуальных технологий аннотирования, поиска, применения сервисов (формализация знаний);

— декларативная запись композиционных приложений, которая не допускает явной алгоритмической интерпретации. Для решения этой задачи требуются технологии эффективного управления их исполнением в распределенной среде;

— использование коммуникационных сетей общего назначения со случайными вариациями загрузки сказывается на специфике учета, распределения и балансировки нагрузки в облачной среде. Как следствие, целесообразно осуществлять планирование исполнения, квотирование и тарификацию на вероятностной основе;

— высокая инерционность среды облачных вычислений, что требует, в частности, развития специальных технологий сопряжения с системами, работающими в режиме реального времени (например, для интерактивной визуализации в ситуационных центрах).

Совокупное преодоление указанных факторов становится возможным на основе симбиотического подхода в рамках концепции iPSE (Intelligent Problem Solving Environment) [6, 7], которая ориентирована на развитие интеллектуальных технологий поддержки жизненного цикла проблемно-ориентированных сред распределенных вычислений. Данная концепция воплощена в многофункциональной инструментально-технологической платформе (МИТП) CLAVIRE, предназначенной для эффективного управления вычислительными, информационными и программными ресурсами распределенных неоднородных вычислительных инфраструктур в рамках модели облачных вычислений второго поколения. МИТП поддерживает процессы создания, исполнения, управления и предоставления сервисов доступа к предметно-ориентированным высокопроизводительным композиционным приложениям, функционирующим на основе облака распределенных прикладных сервисов.

**Принципы функционирования МИТП CLAVIRE.** МИТП может быть использована в основе инновационных производств, предоставляющих пользователям через Интернет высокопроизводительные предметно-ориентированные сервисы в рамках модели облачных вычислений для различных нужд науки, промышленности, бизнеса и социальной сферы, с возможностью использования ресурсов уже существующих распределенных вычислительных инфраструктур (выделенных суперкомпьютеров, Грид, облачных сред первого поколения). Особенности применения и конфигурирования МИТП в конкретных предметных областях определяются в каждом случае общими потребностями данной области в широкодоступных высокопроизводительных вычислениях и наличием прикладного ПО, допускающего предоставление в форме облачных сервисов.

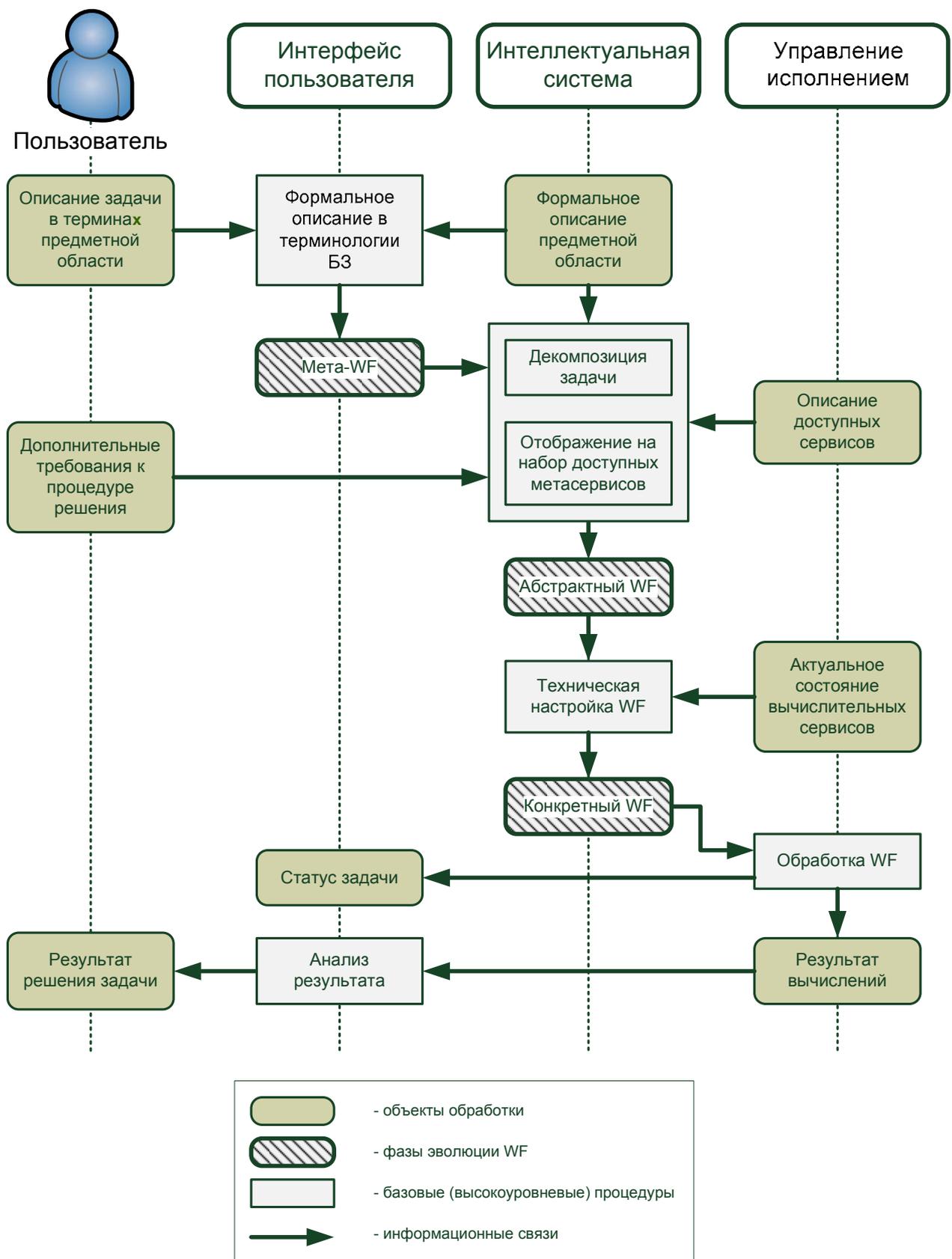
Организация процесса создания и исполнения композитного приложения под управлением МИТП в рамках концепции iPSE сводится к последовательной формализации наборов описаний в терминах потоков заданий (workflow, WF). Верхним уровнем описания приложения является мета-WF (далее MWF). В нем отдельные блоки содержат лишь описания расчетных задач, нужных пользователю, в виде неявных указаний. Таким образом, составленный MWF представляет собой формальное описание пользовательской задачи в терминах предметной области, без указаний на условия ее реализации. Помимо описания действий и данных, необходимых для вычислений, пользователь может задавать критерии, по которым будут подбираться конкретные сервисы, ресурсы, данные (например, время выполнения или высокая надежность), а также дополнительные ограничения и параметры отдельных действий (например, требуемая точность результата).

Проектирование композитного приложения при таком задании исходных данных будет представлять собой процесс поэтапного уточнения MWF через стадии абстрактного (AWF) и конкретного WF (CWF) вплоть до создания конкретных сценариев запуска сервисов в облачной среде и дальнейшего их выполнения. На первом этапе процесса проектирования композитного приложения создается MWF. Пользователь может, например, выбирать классы сервисов, которые доступны в облачной среде, по мере ввода дополнительной информации. Указанные пользователем классы сервисов будут использоваться на следующем этапе для подбора конкретных сервисов. Далее создается WF, в котором уже зафиксированы конкретные реализации вычислительных сервисов, однако еще ничего не известно об условиях их выполнения (AWF). Следующим этапом процесса проектирования является построение расписания и создание сценария выполнения в терминах CWF, который представляет собой WF с полностью определенными блоками. Для блоков действий указаны сервисы и узлы для исполнения, а для блоков данных — конкретное местоположение необходимых данных. На рисунке представлена принципиальная схема создания и исполнения композитного приложения под управлением МИТП, общая для всех способов организации облачной среды.

Более подробно модели, методы и технологии, используемые в МИТП CLAVIRE, рассмотрены в работах [8—11].

**Технологические платформы на основе МИТП CLAVIRE.** МИТП представляет собой инструментальную оболочку, которая позволяет строить различные технологические платформы поддержки облачных вычислений исходя из специфики конкретной задачи.

Технологическая платформа МИТП-К предназначена для создания распределенных корпоративных программных приложений для компьютерного моделирования сложных систем и поддержки принятия решений по управлению комплексными объектами. Специфической особенностью МИТП-К является то, что она использует исключительно корпоративные вычислительные ресурсы. Иными словами, МИТП-К представляет собой программную платформу корпоративного уровня, которая разворачивается на вычислительных ресурсах заказчика (предприятия, имеющего потребность в соответствующих расчетах) и далее используется исключительно его сотрудниками через соответствующую вычислительную сеть.



Такая схема относится к вырожденной модели SaaS/AaaS: само технологическое решение предоставляется предприятию по традиционным вендорским схемам; аналогичным образом предприятием закупается необходимое прикладное ПО для предоставления через МИТП. Предприятие выполняет обязанности провайдера сервисов (исключительно своим сотрудникам); основное преимущество такого подхода связано не с продажами сервисов (как в полной модели SaaS), а с реструктуризацией затрат на обеспечение корпоративной ИТ-инфраструктуры.

Технологическая платформа МИТП-М является инструментальной надстройкой над Грид-средами I поколения, которая обеспечивает высокоуровневый интерфейс к прикладным пакетам, сервисам и композитным приложениям на их основе. За функционирование МИТП-М (в отличие от МИТП-К) отвечает специальная организация — провайдер услуг МИТП-М. В ряде случаев в качестве такой организации может выступать сам оператор Грид-среды, однако это требует приобретения и инсталляции ПО МИТП-М на его собственной инфраструктуре. МИТП-М позволяет реализовать модель SaaS в рамках „публичного“ облака, однако имеет определенные ограничения на способы взаиморасчетов за услуги: в данном случае основным владельцем транспортной сети и прикладных сервисов является оператор Грид-сети, а не провайдер услуг МИТП-М, который и определяет соответствующие правила.

Технологическая платформа МИТП-Ц является специализированным средством для создания инфраструктуры проблемно-ориентированных центров компетенции в различных предметных областях. Задачей центров компетенции является, в частности, интеграция прикладного ПО, покрывающего решение определенного класса задач, а также необходимых для этого вычислительных ресурсов и источников данных. При этом обоснование выбора и принципов взаимосвязи элементов ПО является задачей специалистов-экспертов центра компетенции. Поэтому пользователь такого центра в рамках модели SaaS может рассчитывать не только на доступ к конкретным приложениям (в форме сервисов), но и на услуги в области информационной и интеллектуальной поддержки по выбору и настройке сервисов, а также создания на их основе композитных приложений. Центр компетенции должен обеспечить возможность исполнения выбранного сервиса или приложения на необходимых для этого ресурсах: на собственных выделенных системах или на „арендованных“ мощностях в Грид-средах или облачных средах I поколения. Таким образом, центр компетенции играет роль провайдера услуг МИТП-Ц в рамках модели SaaS. Управляющая инфраструктура МИТП-Ц, равно как и МИТП-К, развертывается на ресурсах внешней организации (в данном случае — центра компетенции), однако, в отличие от МИТП-К, вычислительная инфраструктура ориентирована на использование как собственных, так и внешних ресурсов. МИТП-Ц позволяет реализовать полномасштабную модель SaaS в рамках „публичного“ облака; в отличие от МИТП-М, в данном случае правила предоставления услуг определяются только провайдером МИТП-Ц (самим центром компетенции).

Технологическая платформа МИТП-Э является средством поддержки ситуационных центров, специализирующихся на поддержке принятия решений в различных критических ситуациях, в условиях неопределенности и неполноты исходных данных. В отличие от МИТП-К, МИТП-М, ситуационный центр помимо клиентских (персональных) компьютеров для доступа в Интернет обладает специализированными средствами поддержки принятия решений — широкоэкранными системами визуализации и виртуальной реальности. Потому задача МИТП-Э сводится, в первую очередь, к обеспечению эффективного процесса построения и исследования модельных сценариев развития экстремальных ситуаций с возможностью их интерактивной визуализации. Спецификой экстренных вычислений является то, что соответствующая вычислительная архитектура формируется динамически, с выбором ресурсов под решение конкретной задачи за определенное время (не превышающее допустимого времени принятия решений). Учитывая относительную редкость возникновения критических

ситуаций, оснащать ситуационные центры центрами обработки данных (ЦОД), по аналогии с центрами компетенции, нецелесообразно. Потому МИТП-Э развертывается и эксплуатируется специальной организацией — провайдером услуг МИТП-Э. Ее потребителями являются ситуационные центры, специализированные в различных областях.

Технологическая платформа МИТП-Д является аналогом МИТП-Ц, позволяющим решать задачу поиска и обработки больших объемов данных в распределенных хранилищах. Поскольку эта задача может быть связана с различными предметными областями, провайдером МИТП-Д является не предметно-ориентированный центр компетенции (как для МИТП-Ц), а специализированная организация, предоставляющая разнообразные сервисы работы с данными в Интернете и содержащая соответствующий ЦОД. Предметом деятельности такой организации может быть (помимо собственно SaaS/AaaS) консалтинг по различным направлениям, основанный на анализе и мониторинге „живых“ публичных данных в Интернете. В качестве основного источника публичных данных, обеспечивающих процессы работы с МИТП-Д, рассматриваются социальные сети в Интернете. Несмотря на то что физически эти данные могут не требовать размещения в распределенном хранилище (достаточно использовать серверы оператора социальной сети), при выборе способа их сбора, обработки и анализа исходят из логической распределенности, обусловленной связями между фрагментами данных — узлами социальной сети. Поскольку объемы информации в современных социальных сетях огромны, такой подход оправдан, потому что позволяет отказаться от ресурсоемких операций обработки всей базы данных в пользу связеориентированных технологий (например, обхода базы по соответствующим связям между узлами). Кроме того, это позволяет обеспечить доступ к данным стандартными средствами социальной сети (через Интернет), без специальных договоренностей с оператором о полном доступе к его базе данных (что в большинстве случаев является невозможным).

**Особенности коммерциализации МИТП.** Внедрение и коммерциализация МИТП и технологических платформ на ее основе связаны с задачей организации учета (биллинга) и платежных отношений, поскольку исполнение WF является комплексной услугой, в которой один или несколько образцов ПО используются в рамках модели SaaS/AaaS. При любой системе учета специфика расчетов за пользование композитным приложением состоит в том, что пользователи могут рассматривать обращение к МИТП как разовый процесс, не предполагающий наличия предварительных договорных обязательств. Потому (в идеальной ситуации) все расчеты должны проводиться в электронной форме в режиме реального времени. Дифференцированная форма учета услуг SaaS/AaaS предполагает наличие различных тарифов — от безлимитной подписки с заданным уровнем качества (SLA) до оплаты конкретных вычислительных затрат. Возможны различные формы отношений (от договоров на постоянное обслуживание, заключаемых традиционным путем, до электронных договоров „по факту“ в реальном времени). Кроме того, должны поддерживаться различные механизмы оплаты (традиционные, с помощью средств eCommerce и mCommerce), поддерживающие как банковские, так и небанковские формы платежей. В целом, это позволит сформировать однозначные и легитимные схемы распределения выручки между всеми участниками бизнес-процесса функционирования МИТП (провайдер МИТП, операторы распределенных сред, провайдеры ресурсов и сервисов, разработчики приложений и пр.), учитывающие не только фактические затраты на исполнение конкретного композитного приложения, но и интересы владельцев интеллектуальной собственности (ПО и баз данных), используемой в WF.

**Заключение.** МИТП CLAVIRE предназначена для создания, исполнения и предоставления сервисов доступа к предметно-ориентированным высокопроизводительным композитным приложениям, функционирующим в облаке неоднородных вычислительных ресурсов

корпоративного уровня, уровня центров компетенции, центров обработки данных, инфраструктур экстренных вычислений и систем распределенного хранения и обработки данных. На ее основе реализуется ряд успешных проектов создания проблемно-ориентированных сред облачных вычислений [12, 13].

Работа выполнена в рамках проектов по реализации Постановлений № 218 и 220 Правительства Российской Федерации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. NIST.gov — Computer Security Division — Computer Security Resource Center [Электронный ресурс]: <<http://csrc.nist.gov/groups/SNS/cloud-computing/>>.
2. Defining the Cloud Computing Framework // Cloud Computing Journal [Электронный ресурс]: <<http://cloudcomputing.sys-con.com/node/811519>>.
3. GTSI Cloud Computing Maturity Model [Электронный ресурс]: <<http://www.gtsi.com/cms/documents/White-Papers/Cloud-Computing.pdf>>.
4. Foster I., Kesselman C. The Grid2: Blueprint for a New Computing Infrastructure. Morgan-Kaufman, 2004. 748 p.
5. Twenty-One Experts Define Cloud Computing // Cloud Computing Journal [Электронный ресурс]: <<http://cloudcomputing.sys-con.com/node/612375/>>.
6. Бухановский А. В., Ковальчук С. В., Марьин С. В. Интеллектуальные высокопроизводительные программные комплексы моделирования сложных систем: концепция, архитектура и примеры реализации // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 10. С. 5—24.
7. Бухановский А. В., Васильев В. Н. Современные программные комплексы компьютерного моделирования e-Science // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 3. С. 60—64.
8. Ковальчук С. В., Маслов В. Г. Интеллектуальная поддержка процесса конструирования композитных приложений в распределенных проблемно-ориентированных средах // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 10. С. 29—36.
9. Марьин С. В., Ковальчук С. В. Сервисно-ориентированная платформа исполнения композитных приложений в распределенной среде // Там же. С. 21—29.
10. Князьков К. В., Ларченко А. В. Предметно-ориентированные технологии разработки приложений в распределенных средах // Там же. С. 36—43.
11. Князьков К. В. Особенности работы с потоками задач длительного исполнения в рамках концепции IPSE // Там же. С. 97—100.
12. Иванов С. В., Болгова Е. В., Каширин В. В., Якушев А. В., Чугунов А. В., Бухановский А. В. Web-ориентированный производственно-исследовательский центр „Социодинамика“ // Там же. С. 65—72.
13. Спельников Д. М., Гуськов А. А., Маслов В. Г., Бухановский А. В. Учебно-научный комплекс „Компьютерное моделирование в нанотехнологиях“ на основе Грид-среды // Там же. С. 44—50.

#### Сведения об авторах

- Александр Валерьевич Бухановский** — д-р техн. наук, профессор; НИИ Научно-технических компьютерных технологий Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики; директор; E-mail: avb\_mail@mail.ru
- Владимир Николаевич Васильев** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики; ректор
- Валерий Николаевич Виноградов** — ЗАО „Фирма АйТи. Информационные технологии“, Центр управления проектами, Москва; директор; E-mail: VVinogradov@it.ru
- Дмитрий Юрьевич Смирнов** — ЗАО „Фирма АйТи. Информационные технологии“, Дирекция по работе с государственным и образовательным секторами, Москва; руководитель; E-mail: DSmirnov@it.ru

***Сергей Анатольевич Сухоруков***

— ЗАО „Фирма АйТи. Информационные технологии“, Дирекция по работе с государственным и образовательным секторами, Москва; заместитель руководителя; E-mail: SSukhorukov@it.ru

***Тагир Галеевич Яппаров***

— ЗАО „Фирма АйТи. Информационные технологии“, Москва, председатель совета директоров; E-mail: TYapparov@it.ru

Рекомендована НИИ НКТ

Поступила в редакцию  
15.05.11 г.